

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



*Concepto de línea de ensamble final de amortiguadores  
mediante la implementación del diseño modular para  
mejorar la flexibilidad y escalabilidad*

TESINA QUE PRESENTA

**Ing. Israel Antonio Iñiguez Jiménez**  
**Asesor: M.C. Rodolfo Rivera Barbosa**

Para obtener el grado de

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

Zapopan, Jalisco  
febrero, 2022

## CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



San Francisco de los Romo, Aguascalientes, 2 de Diciembre del 2021.

Mtro. Geovany González Carlos  
Coordinador Académico de Posgrado  
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del Ing. Israel Antonio Iñiguez Jiménez, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis/tesina, titulado "Concepto de línea de ensamble final de amortiguadores mediante la implementación del diseño modular para mejorar la flexibilidad y escalabilidad" **autorizo** que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de **Maestría**.

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

Firma

M.C. Rodolfo Rivera Barbosa  
Grado, nombre completo  
Asesor Académico

F31a Revisión: 01-Jun-2021

**"2021, Año de la Independencia"**

Círculo Aguascalientes Norte N°135, Parque Industrial del Valle de Aguascalientes  
CP. 20358, San José de los Romo, Ags. [www.ciateq.mx](http://www.ciateq.mx)

## CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



GOBIERNO DE  
MÉXICO



CONACYT  
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



El Marqués, Querétaro, 26 de Enero, 2022.

Mtro. Geovany González Carlos  
Coordinador Académico  
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del alumno **ISRAEL ANTONIO IÑIGUEZ JIMÉNEZ**, cuyo título es:

“Concepto de línea de ensamble final de amortiguadores  
mediante la implementación del diseño modular para  
mejorar la flexibilidad y escalabilidad”

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,

M. en C. Julio Cesar Sánchez Jiménez

F31b Revisión: 01-Mar-2021

Av. Manantiales No. 23-A, Parque Industrial Bernardo Quintana, C.P. 76246, El Marqués, Qro. México.  
Tel: +52 (442) 196 1500 www.ciateq.mx



## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de maestría lo dedico a mis familiares, en especial a mi madre por haber trabajado arduamente para darme una formación con valores y buenas costumbres, lo que me dio las herramientas para desarrollarme profesionalmente, también agradezco a mi pareja por brindarme su cariño, apoyo y comprensión para lograr este nuevo título y por darme la satisfacción de procrear una niña durante el ciclo escolar, que ha traído mucha alegría a nuestras vidas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar en especial mi gratitud a mi pareja, madre y hermanos por brindarme su cariño y apoyo para culminar con este nuevo logro en mi carrera profesional.

Agradezco a mi asesor de proyecto el Maestro en Ciencias Rodolfo Rivera Barbosa por su apoyo y tiempo para lograr terminar este proyecto en un tiempo atípico al preestablecido por la institución. Agradezco a todos los docentes de CIATEQ por los nuevos conocimientos que me aportaron a lo largo del curso formativo de maestría, también agradezco a mis compañeros de posgrado por el apoyo brindado y el impulso mutuo para poder culminar el curso formativo.

Finalmente, agradezco a la empresa ZF Guadalajara por brindarme el apoyo necesario en tiempo y recursos para lograr llevar a cabo mi proceso formativo que ofrece CIATEQ en este posgrado.

## RESUMEN

Este trabajo de estudio tiene como propósito presentar los resultados de la implementación de diseño modular aplicado en una línea de ensamble final para fabricar amortiguadores, identificando las necesidades técnicas para la fabricación de cada tipo de amortiguador en curso, además de explicar las partes principales de la línea y los módulos que la conforman, no obstante, este concepto puede ser utilizado en cualquier línea de ensamble productiva para componentes ligeros.

A través de un proceso de investigación se identificaron condiciones para lograr una mayor eficiencia y flexibilidad en la línea de ensamble final, dicha investigación refleja mejoras en la calidad, capacidad y eficiencia productiva de los productos terminados, además de tener la posibilidad de ser escalable de manera sencilla, mediante la integración de nuevos procesos de trabajo después de haber sido instalada.

Mediante el uso de *software* se lograron simular las condiciones de proceso bajo el concepto de modularidad donde se reflejan las mejoras anteriormente mencionadas. A partir de los resultados presentados en este trabajo, se concluye que, el concepto de línea modular es una opción viable para responder rápidamente a las condiciones del mercado dinámico en la industria automotriz.

**Palabras clave:** Línea de ensamble, Diseño modular, Flexible.

## ABSTRACT

The purpose of this study of work is to present the results of the implementation of modular design applied in a final assembly line to manufacture shock absorbers, identifying the technical needs for the manufacture of each type of shock absorber in progress, in addition to explaining the main parts of the line and the modules that compose it, nevertheless, this concept can be used in any productive assembly line for light components.

Through a research process, conditions were identified to achieve greater efficiency and flexibility in the final assembly line, said research reflects improvements in the quality, capacity and productive efficiency of the finished products, in addition to having the possibility of being scalable of Simple way, by integrating new work processes after being installed.

By using software, it was possible to simulate the process conditions under the concept of modularity where the improvements mentioned above are reflected. From the results presented in this work, it is concluded that the modular line concept is a viable option to respond quickly to dynamic market conditions in the automotive industry.

**Keywords:** Assembly line, Modular design, Flexible.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
GLOSARIO .....	xiii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4
1.5. HIPÓTESIS.....	5
2. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Metodología del diseño mecánico .....	6
2.1.1. Etapas del diseño .....	6
2.1.2. Consideraciones de diseño .....	7
2.2. Desarrollo de la ingeniería de proyectos.....	8
2.2.1. Ingeniería conceptual .....	8
2.2.2. Ingeniería básica .....	9
2.2.3. Ingeniería de detalle.....	10
2.3. Ingeniería concurrente.....	10
2.4. Líneas de ensamble.....	11
2.4.1. Diseño de líneas de ensamble .....	13
2.4.2. Línea de ensamble manual.....	13
2.4.3. Línea de ensamble semiautomatizada.....	14
2.4.4. Línea de ensamble automatizada .....	15
2.4.5. Balanceo de líneas.....	17
2.4.6. Tiempo ciclo.....	17
2.4.7. OEE (Eficacia Global de Equipos Productivos) .....	17



2.5. Modularidad.....	19
2.5.1. Diseño modular.....	19
2.5.2. Diseño modular para líneas de ensamble .....	19
2.6. Reconfigurabilidad .....	23
2.6.1. Sistema de fabricación reconfigurable.....	24
2.7. Maquinaria .....	25
2.7.1. Maquinaria y la industria 4.0.....	26
2.7.2. Maquinaria especializada (por proceso de fabricación) .....	27
Atornillado.....	27
Ensamble mecánico .....	28
Etiquetado .....	29
Alimentadores automáticos de componentes .....	30
Conveyors (transportadores).....	31
Herramientales para máquinas especializadas.....	33
2.8. Ajustes y tolerancias mecánicas .....	34
2.9. AMEF de proceso.....	39
3. RESULTADOS .....	40
3.1. Descripción de los procesos actuales de la línea .....	42
3.1.1. Descarga manual de amortiguadores de cadena de pintura .....	43
3.1.2. Ensamble de buje inferior y superior .....	43
3.1.3. Inserción manual de guardapolvo .....	44
3.1.4. Etiquetado manual .....	45
3.1.5. Ensamble de plato y capuchón .....	45
3.1.6. Ensamble manual de componentes modulares .....	46
3.1.7. Atornillado de tuerca modular .....	47
3.1.8. Ensamble de anillo en punta de flecha a presión .....	47
3.1.9. Inspección final y empaque de amortiguadores.....	48
3.2. Análisis de tiempo ciclo en línea de ensamble final .....	49
3.3. Requerimientos de la línea (Ingeniería conceptual y básica) .....	53
3.4. Diagrama de flujo del proceso.....	56
3.5. Descripción técnica de la línea modular (Consideraciones de diseño) .....	57
3.6. Concepto de línea modular.....	58
3.7. Descripción de la línea por estación de trabajo .....	59

3.7.1. Línea de transporte completa (línea de rodillos) .....	59
3.7.2. Estación de carga de amortiguadores & <i>STRUT</i> .....	60
3.7.3. Ensamble de buje inferior .....	61
3.7.4. Ensamble de capuchón .....	61
3.7.5. Ensamble de anillo en flecha .....	62
3.7.6. Estación de carga de buje y componentes modulares.....	62
3.7.7. Estación de atornillado .....	63
3.7.8. Etiquetado y estación de piezas malas .....	63
3.7.9. Excepciones de la línea modular .....	64
3.8. Concepto de modularidad para la línea de ensamble final.....	64
3.8.1. Diseño de máquinas sobre sección de banda modular.....	67
3.8.2. AMEF de proceso para máquina de ensamble de capuchón .....	69
3.8.3. Ajustes y tolerancias mecánicas para fabricación de máquinas .....	71
3.9. Análisis de capacidad con simulación.....	72
3.10. Ventajas de la línea modular con banda de transporte .....	74
CONCLUSIONES .....	76
RECOMENDACIONES .....	78
APORTACIÓN DE LA TESINA .....	79
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESINA .....	80
REFERENCIAS .....	81
ANEXO .....	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Configuración general de una línea de producción.....	12
Figura 2. Ejemplo de línea de ensamble manual.....	14
Figura 3. Ejemplo de línea de ensamble semiautomatizada.....	15
Figura 4. Ejemplo de línea de ensamble automatizada .....	16
Figura 5. Ejemplo de edificio modular con una estación de ensamble .....	21
Figura 6. Ejemplo de planta modular con estaciones de servicio.....	22
Figura 7. Línea de ensamble modular con los módulos separados .....	23
Figura 8. Línea de ensamble modular con los módulos unidos .....	23
Figura 9. Atornillador montado a robot colaborativo.....	28
Figura 10. Servo prensa de alimentación manual con pantalla para graficar.....	29
Figura 11. Etiquetadora automática para botellas.....	30
Figura 12. Alimentador vibratorio circular de tornillos .....	31
Figura 13. Sección de conveyor con pallet portando un motor .....	32
Figura 14. Cambio de herramienta en una dobladora de lámina .....	33
Figura 15. Relación del eje y agujero más tolerancia.....	34
Figura 16. Posición de la tolerancia para agujeros y ejes .....	35
Figura 17. Referencia de ajustes del eje y agujero .....	36
Figura 18. Ejemplo de línea para el ensamble final de amortiguadores .....	40
Figura 19. Gráfico de capacidad de la línea de ensamble final .....	42
Figura 20. Imagen con <i>STRUT</i> y amortiguador más componentes finales .....	42
Figura 21. Descarga manual de la cadena de pintura.....	43
Figura 22. Máquina e imagen del ensamble de bujes .....	44
Figura 23. Esquema del ensamble del guardapolvo .....	44
Figura 24. Colocación de etiqueta impresa en amortiguador.....	45
Figura 25. Ensamble de plato y capuchón en amortiguador.....	46
Figura 26. Ensamble manual de componentes modulares.....	46
Figura 27. Atornillado de tuerca en amortiguador .....	47
Figura 28. Esquema paso a paso del ensamble de anillo en flecha.....	48
Figura 29. Escaneo y empaque de amortiguadores .....	49
Figura 30. Diagrama de flujo de la línea modular.....	56

Figura 31. <i>Lay-out</i> de la línea de ensamble modular .....	58
Figura 32. Sistema de transporte por medio de rodillos motorizados .....	59
Figura 33. Porta piezas ( <i>pallet</i> ) para dos amortiguadores o STRUT .....	60
Figura 34. Detalle de la unión de las secciones de rodillos .....	65
Figura 35. Detalle de conexión electrónica.....	65
Figura 36. Detalle de conexión eléctrica .....	65
Figura 37. Detalle de conexión neumática .....	66
Figura 38. Conexión de gabinetes eléctricos y PLC .....	67
Figura 39. Integración de una nueva estación de trabajo en la línea modular. ...	67
Figura 40. Máquina para el ensamble de capuchón en línea modular.....	68
Figura 41. Máquina para el ensamble de capuchón.....	68
Figura 42. Línea de ensamble final recreada en FlexSim .....	72
Figura 43. Ejercicio de línea modular en FlexSim .....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tolerancia empleada en el sistema ISA.....	35
Tabla 2. Clases de tolerancia dependiendo su nomenclatura para ajustes .....	36
Tabla 3. Tabla de valores de tolerancias para cada IT .....	37
Tabla 4. Tipo de ajustes recomendados ISO.....	38
Tabla 5. Ajustes de tolerancias numéricas referenciadas en planos .....	39
Tabla 6. Capacidad productiva disponible actual .....	41
Tabla 7. Análisis de tiempo a línea completa con STRUT NISSAN.....	50
Tabla 8. Tiempo ciclo del proceso de ensamble de plato y capuchón .....	50
Tabla 9. Capacidad, tiempo ciclo de 5.75 segundos y OEE de 75% .....	51
Tabla 10. Tiempo ciclo de línea completa del amortiguador modular .....	51
Tabla 11. Tiempo ciclo del proceso de atornillado de tuerca modular .....	52
Tabla 12. Capacidad, tiempo ciclo de 6 segundos y OEE de 75% .....	52
Tabla 13. Lista de amortiguadores a producir y sus procesos.....	54
Tabla 14. Requerimientos de proceso e inversión .....	55
Tabla 15. Requerimientos mínimos para la línea modular .....	57
Tabla 16. Características geométricas máquina ensamble de capuchón.....	69
Tabla 17. AMEF de proceso máquina ensamble de capuchón.....	70
Tabla 18. Características de ajuste para ensambles de máquina.....	71
Tabla 19. Resultados de simulación calculados con diferencias de OEE.....	75

## GLOSARIO

**AMEF:** Análisis del Modo y Efecto de Fallas, es una herramienta administrativa que se utiliza para identificar las fallas de ensamble en los productos antes de que estos sucedan, dicha herramienta analiza los procesos productivos con el objetivo de evitar la ocurrencia de las fallas, clasificando de manera objetiva los efectos que dichas fallas pudieran causar con el usuario final (cliente).

**Ajuste:** El ajuste es la diferencia geométrica que hay entre dos piezas que se van a ensamblar, el ajuste puede quedar desde holgado hasta apretado.

**Conveyor:** Dispositivo de manipulación mecánica que mueve materiales de un lugar a otro. Los conveyor permiten un transporte rápido y eficiente para una amplia variedad de materiales, sobre el mismo conveyor o sobre *pallets*.

**Escalabilidad:** Capacidad que tiene un sistema de modificar su tamaño o configuración para adaptarse a las circunstancias cambiantes.

**FlexSim:** *Software* de simulación de eventos discretos de fabricación sobre un entorno 3D. Utilizado para simular mejoras en áreas productivas sin necesidad de realizar pruebas físicas en campo.

**Lay-out:** Diseño del plano de una planta en que se encuentra distribuida el área de trabajo y que tiene como objetivo mejorar la eficiencia mediante la organización de los elementos de acuerdo con su función.

**Modularidad:** Sistema construido con varias partes que interactúan entre sí para efectuar una tarea con un objetivo en común. Cada parte que constituye el sistema se le llama módulo, cada módulo es independiente, pero puede comunicarse con el resto de los módulos.

**OEE:** La eficacia global de los equipos productivos es una herramienta utilizada para la mejora continua que se utiliza como indicador para medir la capacidad productiva de las máquinas y de las líneas de producción.

**Pallet:** Estructura empleada para el movimiento de cargas.

**PLC:** Computadora programable utilizada para la automatización de maquinaria industrial.

**Reconfigurabilidad:** Capacidad de un sistema para reorganizar sus componentes con la finalidad de incrementar su funcionalidad de manera efectiva en términos de tiempo y costo.

**STRUT:** Amortiguador frontal diseñado de forma robusta para soportar cargas laterales.

**Simulación:** Actividad donde se utilizan *softwares* de programación para realizar pruebas similares a lo real sin tener que realizar pruebas con partes físicas, dichos *softwares* ayudan a comprobar modificaciones para mejorar un sistema antes de invertir en los dispositivos necesarios evitando invertir en cosas innecesarias.

**Tolerancia:** Variación permitida en la medida de piezas fabricadas, la tolerancia se determina dependiendo la necesidad de donde será utilizada dichas piezas.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. ANTECEDENTES

Hoy en día el mercado es muy competitivo y requiere de cambios constantes, pero efectivos en cuanto al diseño de nuevos productos, la adaptación a esta competencia por parte de la industria automotriz ha empujado tanto a las empresas armadoras de autos como a sus proveedores de refacciones, a mejorar sus productos y sus procesos productivos internos para fabricar con una mejor calidad, efectividad y rapidez.

A nivel global se ha detectado que cada planta tiene en sus áreas de ensamble final diferente flujo y tipo de maquinaria para realizar el mismo proceso, donde en algunos casos, la inversión realizada o solicitada para la adquisición de nuevos equipos o líneas de producción ha sido excesiva o muy limitada, lo cual ha generado exceso de inversión o en el peor de los casos la adquisición de maquinaria que fabrica con mala calidad o por encima del tiempo ciclo requerido; También se han dado casos que se invierte en una línea para un proyecto en específico y al requerirse volúmenes adicionales de producción, dicha línea es incapaz de fabricarlos, obligando a la compañía a invertir en una línea adicional para cumplir con el nuevo requerimiento. Por tal motivo este trabajo de investigación nace de la necesidad de mejorar las líneas de ensamble final de amortiguadores, que en la actualidad carecen de un flujo y nivel tecnológico estandarizado que sea efectivo tanto para las entregas al cliente como para las ganancias de la compañía.

Actualmente, en las áreas de ensamble final existen tres tipos de líneas productivas:

1. Líneas con máquinas independientes operadas por una persona y con un tiempo ciclo de 10 segundos por pieza terminada.
2. Líneas transportadoras de rodillos, con transportadores de 1 pieza, difíciles de modificar o actualizar, con tiempo ciclo de 10 segundos pieza.
3. Líneas de rodillos con transportadores de 2 piezas, difíciles de modificar o actualizar, con tiempo ciclo de 10 segundos por 2 piezas terminadas.



## 1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Hoy en día la competitividad en las empresas es muy importante, ya que el mercado cada vez es más exigente, debido a esto, las empresas tienden a desarrollar estrategias que ayudan al mejoramiento de sus procesos, acortando el tiempo de fabricación del producto, asegurando la calidad de este y con un costo menor. Las empresas requieren la mejora continua cada vez más rápido, por lo que el optimizar los costos y reducir los tiempos de producción están a la orden del día, esto conlleva a la necesidad de mejorar internamente, a través de mejorar la eficiencia en los procesos de fabricación y ensamble.

Actualmente, la planta ZF GDL fabricante de amortiguadores y las plantas de ZF a nivel global, siguen produciendo con maquinaria manual o líneas automáticas poco flexibles, que solo pueden producir de uno a tres productos o familias diferentes de amortiguadores, esta cantidad es limitada para la variedad de productos que actualmente se fabrican en las áreas de ensamble final; Las líneas de producción actuales, generan paros y demoras en los procesos más complejos y requieren un mayor número de personal para llevar a cabo cada operación, elevando así sus costos de producción. Históricamente, las plantas de ZF a nivel global han solicitado maquinaria o líneas de ensamble final con la introducción de un nuevo proyecto, tomando en cuenta el diseño del mismo y el volumen de piezas que requiere por año, desafortunadamente nunca se solicita que las líneas de ensamble cuenten con la capacidad de poder procesar modelos de amortiguadores que todavía no han sido desarrollados, financieramente esto no es costoso, solicitar maquinaria o líneas para fabricar todos los diferentes productos existentes a nivel global o que tengan la capacidad de producir el mayor volumen de piezas posibles desde un inicio, pero si deberían tener la flexibilidad y opción de mejorar estos aspectos con la llegada de nuevos productos y nuevos volúmenes de producción.

La decisión de adquirir maquinaria o líneas de ensamble final por tipo de producto y cantidad de volumen ha generado un problema de tener varias líneas de ensamble final subutilizadas en un turno, o el tener líneas llenas con sobre producción, sin capacidad y con poca flexibilidad para introducir productos con ensambles diferentes, lo cual obliga a adquirir otra nueva línea para tenerla con poca utilización y una inversión que retornará muy lentamente.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

Los constantes cambios de diseño en la industria automotriz conllevan a generar cambios en los diseños de amortiguadores. Esta investigación pretende aumentar la eficiencia productiva en los nuevos proyectos, también planificar con mejores resultados las estrategias de producción en los proyectos que ya se encuentran en fabricación, perfeccionando las estrategias productivas, financieras y económicas de la compañía en cuanto a sus ganancias.

Se requiere estandarizar el diseño de las líneas bajo el concepto de modularidad para lograr tener una mejora económica. Algunos ejemplos de problemas que podríamos eliminar son los siguientes:

- Tiempo ciclo alto en líneas conformadas por estaciones independientes en los procesos más complejos, como el ensamble modular del amortiguador, actualmente se fabrican 2 piezas en 13 segundos y dicha estación debe funcionar ensamblando 2 piezas cada 10 segundos.
- Mayor inversión en la modificación de líneas de rodillos sin el sistema modular; Se pueden tener ahorros de 30 hasta 70 mil dólares por la instalación de una nueva estación.
- Invertir en la compra de líneas adicionales, cuando se superan los volúmenes de producción por encima de 1,700,000 piezas al año; Factibilidad de volumen posible en líneas de una sola estación.
- Contrarrestar la falta de trazabilidad en las piezas producidas, evitando enviar piezas defectuosas al cliente por una mala identificación.

- Reducir la cantidad de operadores que se tienen en la actualidad, en las líneas de ensamble final con el concepto de estaciones independientes.

Este diseño estándar modular para líneas de ensamble final ayudará a la compañía a incrementar el OEE, eliminando paros innecesarios del proceso productivo, tendrá una producción pieza a pieza sin generar lotes de productos entre estaciones, utilizará menor cantidad de operadores y tendrá estaciones de trabajo más eficientes por su nivel de automatización.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Generar un diseño de línea bajo el concepto modular estándar para la fabricación de amortiguadores en el área de ensamble final, que tenga la capacidad de producir los diferentes tipos de amortiguadores existentes y futuros, considerando poder incrementar la cantidad de procesos y el volumen de producción a un tiempo ciclo de 10 segundos por 2 piezas.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Conceptualizar y desarrollar el diseño de línea modular de ensamble final estándar, con tiempo ciclo de 10 segundos por 2 piezas y 80% de OEE.
- b. Generar un diseño de línea estandarizado que ayude a la compañía globalmente para la adjudicación adecuada de líneas de ensamble final.
- c. Enlistar criterios para lograr el incremento en la flexibilidad y la escalabilidad de la línea.
- d. Evaluar el desempeño de la línea modular estándar.

## **1.5. HIPÓTESIS**

Mediante el concepto de modularidad aplicado a líneas de ensamble final es posible incrementar la flexibilidad, escalabilidad y volumen de producción, además de lograr beneficios económicos mediante su adquisición bajo este concepto de diseño.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Metodología del diseño mecánico**

El diseño mecánico es una tarea compleja que requiere muchas habilidades, donde es necesario subdividirla en una serie de tareas simples, llevando una secuencia lógica de ideas las cuales se presentan y revisan para su buena ejecución. Primero se aborda la naturaleza del diseño en general, luego el diseño en ingeniería mecánica en particular. Existen muchos recursos para apoyar al diseñador, en ellos se incluyen muchas fuentes de información y una gran abundancia de herramientas de diseño por computadora (Budynas, 2012).

Para que el diseño mecánico sea confiable se deben de tomar en cuenta factores para que los productos sean duraderos, factores como el esfuerzo, el desgaste y la resistencia. Normalmente, para tener datos que puedan apoyar al diseño en el sentido de la confiabilidad y durabilidad, se realizan análisis matemáticos que dan resultados cercanos al punto máximo de resistencia, también existen *softwares* de análisis finito que ayudan con a evaluar de forma más ágil los factores de riesgo. No obstante, para realizar un buen diseño se debe considerar un factor de seguridad para estar del lado seguro, sin dejar en riesgo al elemento a ser diseñado. Para el diseño mecánico también se deben considerar dimensiones y tolerancias como también la factibilidad de fabricación, este último punto obliga al diseñador a investigar que de lo que tiene considerado puede ser fabricado, también van implicados los materiales seleccionados para el nuevo diseño, estos son puntos importantes para que el diseño tenga éxito.

#### **2.1.1. Etapas del diseño**

Básicamente, cualquier sistema o proceso debe efectuarse cronológica y ordenadamente para que termine de manera correcta, sin excepción, el diseño conlleva a ser efectuado con ciertas etapas, para que el producto final a crearse funcione o realice la tarea imaginada al momento de nacer. Las etapas del diseño (Budynas, 2012), comienzan con la identificación de una necesidad y la decisión

de resolverla después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacerla. Enseguida se enlistan las etapas del diseño:

- A. Reconocimiento de la necesidad:** Comúnmente este paso sucede cuando se genera algún problema o cuando se detecta que algo no está bien, por resultados de un evento o varios eventos simultáneos.
- B. Definición del problema:** En esta etapa se incluyen todas las especificaciones del objeto a ser diseñado, considerando sus características y las limitaciones (peso, tamaño, velocidad, costo, vida útil, etc.) existentes para poder desarrollarlo.
- C. Síntesis:** También llamada diseño conceptual, es donde se propone, investiga y cuantifica el desarrollo del objeto o proyecto, para encontrar que este sea lo más competente posible. Esta etapa está relacionada con el análisis y la optimización de forma íntima e iterativa.
- D. Análisis y optimización:** En este paso se analizan, se evalúan y optimizan todas las especificaciones del proyecto, las cuales se desarrollan mediante modelos matemáticos, se debe escoger el método que más se adecúe al diseño a realizar.
- E. Evaluación:** En esta etapa se representa la prueba final de un diseño y, normalmente, se prueba el prototipo finalizado en un laboratorio para verificar si el diseño satisface todas las necesidades que inicialmente se pensaron cubrir.
- F. Presentación:** Esta es la etapa final del proyecto y es donde se debe demostrar la efectividad del diseño, demostrando que cubrirá de manera efectiva la necesidad inicial.

### 2.1.2. Consideraciones de diseño

Para la ejecución de un diseño se deben considerar ciertos factores, los cuales determinan las características principales para crear el objeto o cosa a ser diseñada, dichos factores determinan tanto el peso o dimensiones del objeto, por citar un ejemplo, la fricción que deben soportar las balatas de frenado para detener el avance de un automóvil, son una característica importante la cual

determinará el material base para fabricar dicho componente. Enseguida se citan algunas consideraciones que afectan o influyen directamente al diseño:

- Desgaste
- Esfuerzo
- Propiedades térmicas
- Confiabilidad
- Seguridad
- Responsabilidad legal
- Factibilidad
- Peso
- Utilidad
- Resistencia
- Forma
- Capacidad de reciclaje
- Corrosión
- Costo

En resumen, todas las consideraciones de diseño aplicables al objeto a ser desarrollado estarán relacionadas entre sí y afectarán al diseño en cuestión, lo cual probablemente se tendrán que realizar algunos cambios no planificados en el trascurso de su creación.

## **2.2. Desarrollo de la ingeniería de proyectos**

La ingeniería de proyectos sirve para desarrollar una idea hasta convertirla en una realidad, donde las fases o etapas que se llevan a cabo son las siguientes:

- Fase conceptual
- Fase de diseño (ingeniería básica)
- Fase de ejecución (ingeniería de detalle, gestión de compras, instalación, construcción y montaje)
- Fase de pruebas y puesta en servicio

### **2.2.1. Ingeniería conceptual**

La Ingeniería conceptual es el punto de partida donde se estudia la pre factibilidad y factibilidad que define la profundidad de la decisión técnica del proyecto (Miranda, 2004). La Ingeniería conceptual se aplica inicialmente para identificar la viabilidad tanto técnica como económica del proyecto y es la que marcará la pauta para el desarrollo de la ingeniería básica y la ingeniería de detalle. (Coll, 2018). Se basa en un estudio previo donde se analiza la factibilidad del proyecto y en la determinación de los requerimientos de este; En esta etapa se generan los datos de entrada y de salida para cumplir con todas las características del

proyecto, se revisan las especificaciones, capacidades productivas, necesidades técnicas, costos, tiempos, calidad, etc. A continuación, se enlistan algunos puntos que se analizan en esta etapa:

- Se fija el costo mínimo del proyecto.
- Se define la fuente de tecnología a ser utilizada.
- Se definen los sistemas (mecánicos, eléctricos, mantenimiento, etc.)
- Se define la distribución de la línea de ensamble.
- Los productos y la capacidad de producción.
- Las normas y especificaciones.
- La descripción del proceso y los requerimientos del usuario.
- El plan, flujos de materiales y personas, los planos de áreas clasificadas y los diagramas de procesos básicos.
- La estimación de requerimientos de servicios externos.
- El listado de equipos disponibles y faltantes.
- La valoración económica de la inversión  $\pm 30\%$ . (Coll, 2018)

### **2.2.2. Ingeniería básica**

En la ingeniería básica se definen los criterios e ideas generales del proyecto, se reflejan los requerimientos del usuario, se realiza la valoración económica y las especificaciones, también en esta fase se genera el plan de trabajo para realizar dicho proyecto.

Esta fase se desarrolla en dos etapas donde la primera consiste en la toma de datos y la elaboración de los requerimientos de usuario y en la segunda se desarrollan algunos de los siguientes puntos dependiendo el tipo de proyecto:

- Revisión detallada de la ingeniería conceptual y requerimientos de usuario.
- Capacidades productivas.
- Revisión de *Lay-out*.
- Listas de equipos disponibles y sus especificaciones.
- Tiempo ciclo.
- Dibujos de ensambles generales y subensambles. (Coll, 2018)



Después de haber desarrollado todos los puntos del listado anteriormente citados, se afirma el camino para iniciar con el paso siguiente, en donde se desglosan los puntos detalladamente para la ejecución del proyecto. A la siguiente etapa se le conoce como ingeniería de detalle.

### **2.2.3. Ingeniería de detalle**

En la ingeniería de detalle se determinan los valores y las especificaciones técnicas de la ingeniería básica; Es donde se plasman las ideas que al inicio del proyecto fueron concebidas y se vuelven una realidad. El objetivo de esta fase es definir con tal precisión todos y cada uno de los subsistemas componentes o partes que forman el proyecto, de manera que los documentos que se desarrollan sean suficientes para llevar el proyecto a la práctica. Se debe realizar conforme a normas aceptadas y criterios de seguridad, todo esto debe ser también discutido al inicio del proyecto. La fase de ingeniería de detalle consta de algunas de las siguientes tareas:

- Revisión detallada de la ingeniería básica.
- Especificaciones técnicas de equipos y materiales.
- Especificaciones funcionales.
- Elaboración de planos de maquinaria y herramientas.
- Cálculo de resistencia, rigidez, etc.
- Memorias de cálculo, condiciones dinámicas.
- Listado de equipos, accesorios y materiales
- Ensamble y comprobación de las partes.
- Comprobar dimensiones y resultados con normas.
- Preparación, verificación y creación de documentos. (Coll, 2018)

### **2.3. Ingeniería concurrente**

La ingeniería concurrente se basa en la integración de todos los departamentos que conforman una compañía fabricante de bienes para la realización de un nuevo producto, tomando en cuenta las opiniones de todas las áreas tanto internas

como externas, las cuales toman decisiones después de haberse diseñado el producto.

Esa integración se logra habitualmente mediante la implantación de equipos multifuncionales que incluyen representantes de departamentos internos (planificación de producto, ingeniería de producto, producción, etc.) y de empresas externas (proveedores de componentes, equipos de producción, diseñadores industriales, etc.), así como potentes sistemas informáticos de CAD (diseño asistido por ordenador) para compartir la información durante el avance del proyecto.

La ingeniería concurrente resulta en una reducción de del *time to market* (tiempo de lanzamiento al mercado) el plazo de desarrollo del nuevo producto, es decir permite una gestión mejor del factor de tiempo en el proyecto de desarrollo, lo que resulta en una ventaja competitiva (Ibáñez, 2000).

Básicamente, la ingeniería concurrente se aplica en la introducción de nuevos productos y se enfoca en la integración del departamento de ingeniería de diseño con la planta manufacturera, con el objetivo de reducir cambios de diseño y el tiempo de los costos involucrados desde la concepción del diseño hasta la introducción del producto en el mercado; Con esta estrategia se reducen tiempos de cambio de diseño por una mala selección tanto de materiales y especificaciones técnicas que no se puedan cumplir, como dimensiones del producto, tolerancias y factibilidad técnica de la maquinaria productiva.

## **2.4. Líneas de ensamble**

Una línea de producción la forman una serie de estaciones de trabajo ordenadas para que los productos pasen de una estación a la siguiente y en cada estación se realice una parte del trabajo total (véase figura 1). La velocidad de producción de la línea se determina por medio de su estación más lenta. Las estaciones de

trabajo con los ritmos más rápidos llegarán a verse limitados por la estación más lenta, que representa un cuello de botella (Groover, 1997).

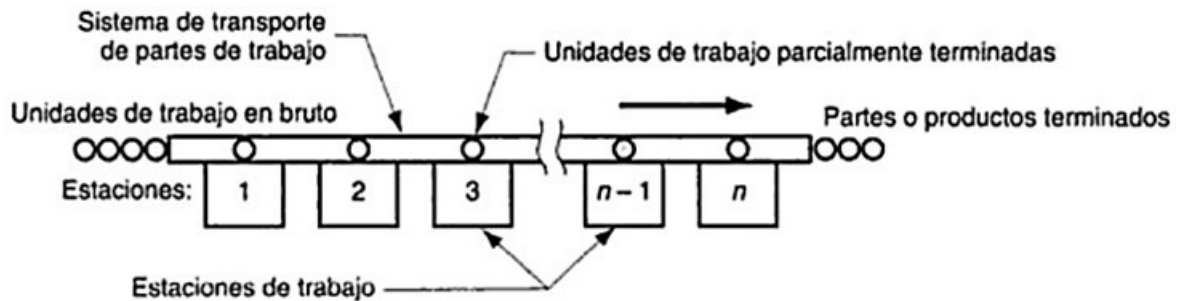


Figura 1. Configuración general de una línea de producción (Groover, 1997)

Las líneas de ensamble fueron diseñadas para producir grandes cantidades de un único modelo y pueden elaborar altos volúmenes de bienes estandarizados, ya que permiten alcanzar altos indicadores de productividad aprovechando al máximo la utilización de los recursos. Sin embargo, los mercados actuales son globalizados y despiertan en los clientes diferentes tipos de gustos que se renuevan constantemente. Para responder a estos patrones de demanda modernos es indispensable que las empresas ofrezcan un amplio portafolio de productos que puedan ser elaborados en bajas cantidades y en cortos tiempos de suministro; por lo tanto, es necesario que sus sistemas productivos sean lo suficientemente flexibles como para producir una combinación de productos que fuese requerida por los clientes, pero al mismo tiempo deben tener alta eficiencia. En estos casos se pueden utilizar líneas de ensamble para aprovechar sus ventajas, pero es necesario considerar nuevas técnicas de balance que permitan tener un mayor grado de flexibilidad (Orejuela & Flórez, 2019).

Las líneas productivas están constituidas por varias estaciones automatizadas o semi automatizadas, donde se van agregando componentes o subensambles, ya sea por una persona, estación o robot, dependiendo el requerimiento e inversión de cada compañía, dicha tarea se desarrolla en cada estación que conforma la línea hasta tener el producto terminado para ser enviado al cliente. Adicionalmente, cada estación de trabajo cuenta con sistemas de ajuste programables

(parámetros), comandados por medio de un PLC (control lógico programable), para asegurar la repetibilidad de movimientos y posiciones de trabajo en cada estación, con el fin de fabricar diferentes productos de forma más ágil.

En la actualidad, por cuestión de calidad y trazabilidad, se han adaptado a las líneas sistemas electrónicos para rastrear las piezas producidas a lo largo de la misma, en cada uno de los procesos adheridos a ella; Estos sistemas ayudan a conocer cada paso por el cual se transformó el producto final, además de rastrear si el producto fue correctamente ensamblado o incorrectamente ensamblado, teniendo el control y visión total de las piezas fabricadas. En un futuro próximo, las líneas se adaptarán a la industria 4.0 para tener control de la trazabilidad en tiempo real, con la ayuda de cualquier dispositivo de comunicación electrónico, como por ejemplo un teléfono inteligente.

#### **2.4.1. Diseño de líneas de ensamble**

Lo que define el diseño de cada línea de ensamble en particular es el producto por manufacturarse y las cantidades que este requiere; Dichas líneas pueden manufacturar diferentes modelos de productos siempre y cuando las diferencias entre modelos no sean demasiado grandes.

Algunos de los factores más importantes que definen el tipo o diseño de línea a fabricarse son los siguientes: capacidad productiva, inversión disponible de la empresa, tipo y nivel tecnológico del producto, costo de la mano de obra, entre otros. A continuación, se mencionan algunos de los tipos de líneas existentes en la industria manufacturera.

#### **2.4.2. Línea de ensamble manual**

Una línea de ensamble manual está compuesta por varias estaciones de trabajo ordenadas en forma secuencial donde los trabajadores ejecutan operaciones de ensamble como lo muestra la figura 2. El proceso de producción de la línea de ensamble manual se inicia ingresando el componente base en la primera estación de la línea y consecutivamente o conforme va pasando en cada estación de esta,

se le van agregando más componentes o subensambles para conformar el producto a ser suministrado al cliente final, este procedimiento pasa de la estación inicial a la final hasta embalar el producto y ser enviado al almacén de producto terminado.

Estas líneas dependen totalmente de la habilidad del humano para manufacturar con calidad los productos, no obstante, los productos que se fabrican en este tipo de líneas no requieren de consideraciones y/o especificaciones técnicas muy exigentes. Las líneas de ensamble manual representan una inversión muy económica y son muy fácil de construir.

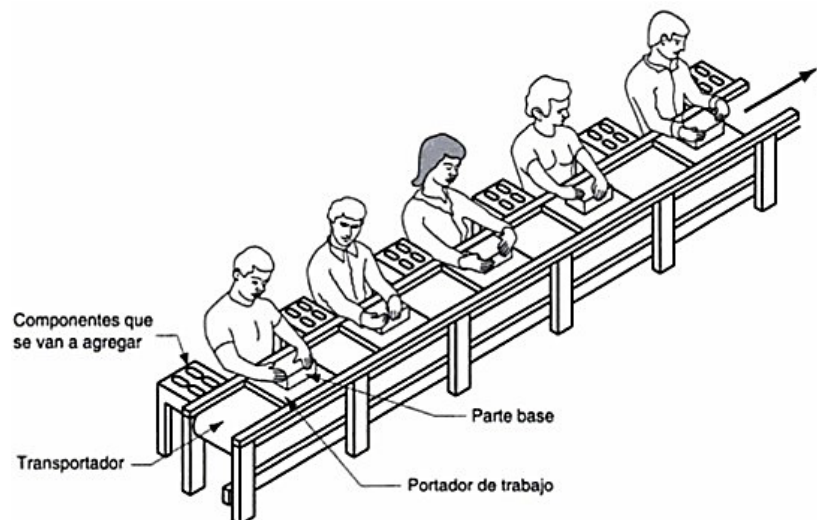


Figura 2. Ejemplo de línea de ensamble manual.  
(Groover, 1997)

### 2.4.3. Línea de ensamble semiautomatizada

Las líneas de ensamble semiautomatizadas cuentan también con múltiples estaciones de trabajo conformadas por operadores y maquinaria eléctrica o electrónica comandada por un sistema que las hace funcionar repetidamente en cada ciclo de la misma forma. Hay diferentes tipos de líneas semiautomatizadas, como ejemplo existen las conformadas por una máquina controlada por un operador en cada estación y en las cuales el producto en transformación se pasa de una estación a otra por los mismos operadores, también existen las que tienen sistemas de transporte sobre líneas de rodillos en las cuales también un operador esta

frente a cada estación alimentando a la línea con componentes o sub ensambles para transformar el producto hasta su forma final, solo que en este caso el producto en transformación pasa de estación en estación por medio del transportador de piezas.



Figura 3. Ejemplo de línea de ensamble semiautomatizada.  
(Induma, s. f.)

#### **2.4.4. Línea de ensamble automatizada**

Las líneas de ensamble automatizadas son similares a las semiautomatizadas, la única y gran diferencia que tienen estas líneas es que no utilizan operadores, los operadores solamente intervienen para realizar cambios de herramientas o cambios de productos más la alimentación de componentes o subensambles, pero en las tolvas o estaciones de alimentación automática. Lo que suple a los operadores en estas líneas son robots automatizados los cuales realizan el mismo trabajo que los operadores, pero de manera más consistente y repetitiva (ver fig. 4). En particular para fabricar este tipo de líneas se requiere de la mayor inversión comparándola con las manuales que requieren un presupuesto insignificante y las semiautomatizadas donde se utilizan algunos operadores.



Figura 4. Ejemplo de línea de ensamble automatizada (DirectIndustry, s. f.)

En este tipo de líneas semiautomatizadas y automatizadas suelen adaptarse alguno de los siguientes procesos:

- Prensado.
- Estaciones de prueba de fugas, eléctricas dinamométricas, etc.
- Perforado.
- Calafateado.
- Dosificado de adhesivo, aceite, químico, etc.
- Atornillado.
- Remachado.
- Troquelado.

Las líneas de ensamble semi y automatizadas tienen cierta distribución dependiendo el producto y procesos que requería el mismo para ser elaborado. El acomodo clásico es en línea recta, después de estas se realizaron en forma de "U" y "L" y círculo y hasta en "S". Las líneas que cuentan con bandas de rodillos y sistemas paletizados de carga de componentes son en forma de "C", estas tienen en particular una sección elevada para retornar la paleta de transporte al principio de la línea y sea cargado otro nuevo producto. El otro tipo más sencillo y clásico en forma de círculo.

### **2.4.5. Balanceo de líneas**

El balanceo de líneas es un tema importante por considerar al momento de realizar el diseño preliminar del flujo de proceso para una línea de ensamble (Masood, 2006). Se utiliza para determinar la asignación óptima de operaciones en cada una de las estaciones de trabajo que conforman una línea, o para minimizar el número de estaciones de trabajo para un tiempo de ciclo dado. En términos generales el balanceo de líneas busca optimizar los tiempos productivos en cada proceso de la línea, minimizando el tiempo de ciclo por medio de la asignación de tareas de manera equilibrada entre estaciones, con el fin de lograr fabricar el producto terminado pieza a pieza en la misma cantidad de tiempo, como ejemplo fabricar una pieza por cada 10 segundos. Como ayuda para solucionar los problemas del balanceo de líneas, se han utilizado métodos matemáticos, heurísticos, de toma de tiempos y movimientos y actualmente se utilizan *softwares* de simulación.

### **2.4.6. Tiempo ciclo**

El tiempo ciclo ( $T_c$ ) de un proceso productivo se puede definir como el tiempo que transcurre entre la producción de dos unidades consecutivas (siempre que se trabaje unidad por unidad) (Torrents et al., 2010). El tiempo ciclo solamente se utiliza para procesos cíclicos y procesos discretos, como por ejemplo en la recolección de cosechas, en este caso se contabilizan las toneladas o kilogramos que se reúnen en la jornada laboral o en horas.

El tiempo ciclo es muy útil y se emplea para medir la capacidad productiva por cantidad de piezas de una línea de ensamble. Cuando se indica que el tiempo ciclo en la perforación de una pieza es de 10 segundos, significa que cada pieza que pase por ese proceso se montará en la máquina, perforará y desmontará de la máquina pasando al siguiente proceso en 10 segundos; la capacidad nominal productiva de este proceso será de 360 piezas por hora.

### **2.4.7. OEE (Eficacia Global de Equipos Productivos)**

La efectividad global del equipo OEE, es una herramienta de medición de la eficacia de la máquina industrial, permitiendo identificar, cuantificar y actuar para



minimizar las pérdidas productivas (Novau & Suárez, 2020). En la actualidad la industria manufacturera ha adoptado esta filosofía para evaluar la productividad de sus líneas de ensamble, asignándoles un valor porcentual de efectividad a cumplirse mediante los aspectos que se miden dentro de este sistema. Los aspectos que mide el OEE son los siguientes:

1. **Disponibilidad:** Considera el porcentaje de tiempo productivo de la máquina contra el tiempo de producción planeado.
2. **Eficiencia o desempeño:** Considera el porcentaje de velocidad con el que produce la máquina, considerando tiempo lentos y pequeños paros.
3. **Calidad:** Considera el porcentaje de productos fabricados correctamente de la producción total.

$$\text{Disponibilidad\%} = (\text{tiempo produciendo} / \text{tiempo programado para producir}) 100 \quad \text{Ec(1)}$$

$$\text{Desempeño\%} = (\text{Producción real} / \text{cantidad de producción teórica}) 100 \quad \text{Ec(2)}$$

$$\text{Calidad\%} = (\text{cantidad de productos buenos} / \text{cantidad total producida}) 100 \quad \text{Ec(3)}$$

$$\text{OEE} = (\text{Disponibilidad\%})(\text{Eficiencia\%})(\text{Calidad\%}) \quad \text{Ec(4)}$$

Como ejemplo se considera lo siguiente, una línea de producción que fabrica productos cada 10 segundos tuvo paros por cambios de producto de 40 minutos, durante las 8 horas de un turno, además hubo demoras adicionales por 120 minutos debido a problemas con el suministro de componentes para producir; De la producción total, 10 piezas fueron rechazadas por mala calidad.

Tomando los datos anteriores y las 4 ecuaciones para el cálculo del OEE, se obtienen los siguiente:

$$\text{Tiempo total del turno} = 8 \text{ hrs} = 480 \text{ min} \quad \text{Tiempo}$$

$$\text{Disponibilidad \%} = (480 \text{ min} - 40 \text{ min} / 480 \text{ min}) \times 100 = 91\% \quad \text{Ec(1)}$$

$$\text{Desempeño \%} = (440 \text{ min} - 120 \text{ min} / 440 \text{ min}) \times 100 = 72\% \quad \text{Ec(2)}$$

$$\text{De la op. 3: Calidad \%} = (1920 \text{ piezas} - 10 \text{ malas} / 1920 \text{ piezas}) \times 100 = 99\% \quad \text{Ec(3)}$$

$$\text{OEE} = 91\% \times 72\% \times 99\% = 64\% \quad \text{Ec(4)}$$

## **2.5. Modularidad**

El concepto de modularidad se basa en sistemas funcionales que tienen sub-partes separables y fáciles de ensamblar o reemplazar, dichas sub-partes también pueden ser reemplazadas por otras diferentes que hacen la misma función y complementan el sistema. Este tipo de diseño se utiliza tanto para productos comerciales, *softwares* computacionales, industria de la construcción, automotriz, alimenticia, etc.

### **2.5.1. Diseño modular**

El diseño modular se basa en el concepto de crear productos fácilmente separables los cuales ofrecen una alta flexibilidad, de hecho, dicha flexibilidad es conveniente para la industria manufacturera, ya que en la configuración de máquinas y cambios de herramientas son requeridos menores movimientos debido a que los productos son muy similares por los componentes o subensambles que los crean.

El enfoque modular para el diseño del producto tiene aplicaciones en la manufactura y el servicio. Solo un diseño modular hace que el consumidor compre una motocicleta Harley-Davidson o un estéreo de alta fidelidad con las características que usted desea, la flexibilidad modular también le permite comprar comidas, ropa o seguros con una base (modular) de combinar y adecuar (Heizer & Render, 2004).

### **2.5.2. Diseño modular para líneas de ensamble**

En la actualidad el diseño modular está siendo una solución para realizar adaptaciones o cambios de configuración en productos, procesos y sistemas, este mismo concepto se ha estado adaptando a las líneas y máquinas productivas en las compañías manufactureras para poder realizar cambios de forma más rápida, económica y efectiva, también para ahorrar tiempo en la reconfiguración para la fabricación de nuevos productos, todo esto ha sido empujado por las necesidades del mercado y la demanda del cliente.

A continuación, se exponen algunos ejemplos de patentes que describen el diseño modular aplicado a diferentes líneas productivas. La metodología de búsqueda de patentes se expone en el anexo A.

La **patente US 2007/0113391 A1** describe una línea modular y un dispositivo de posicionamiento que se reconfiguran de modo automático con un sistema de mando computacional, que controla los parámetros específicos del producto a fabricarse en la línea dependiendo sus dimensiones y evitando efectuar los cambios de manera manual o intercambiando accesorios de la misma línea (Tykkylainen & Karaiste, 2007).

La intención principal del diseño de la línea en la patente US 2007/0113391 A1 es evitar el tiempo de cambio de código de la línea, reduciendo costos significativos que impactan a la empresa, ya que los problemas principales en su producción, son los cambios de código al ser esto muy tardado por la intervención de operadores que deben hacer los cambios mecánicos con habilidad obtenida de modo empírico, esto no es sistemático y se pierde mucho tiempo al ejecutar pruebas iniciales y verificar si el ajuste del nuevo producto a fabricar se ejecutó con efectividad o se debe efectuar un nuevo ajuste.

La ventaja que se puede lograr con la invención está representada por el hecho de que en un cambio de producto de la técnica anterior el tiempo de cambio de producto es de aproximadamente 16 horas. La utilización de la invención da como resultado un tiempo de cambio de producto de aproximadamente 15 minutos. La invención reduce el cambio de producto significativamente teniendo como ganancia en tiempo 15.75 horas de fabricación efectiva.

En la **patente US 8789269 B2** se realizó una invención para la instalación de líneas productivas con módulos que ensamblan carrocerías de chapa metálica para vehículos comerciales y de pasajeros. El motivo de hacer dicha patente fue evitar las inversiones que se requieren en la fabricación de las plantas armadoras y su subutilización temprana por el cambio repentino de modelos lanzados al mercado,

por necesidad de los consumidores; Dicha patente busca tener instalaciones ecológicas de fabricación modular que sean portátiles, que se transporten fácilmente por tierra o mar, requieran una infraestructura de planta mínima en el sitio y que sean altamente eficientes y respetuosas con el medio ambiente para el área circundante (Kilibarda et al., 2014). En la figura 5 se muestra una vista desde un extremo de la línea de construcción de instalaciones de edificios modulares que incluye una estación de ensamblaje modular.

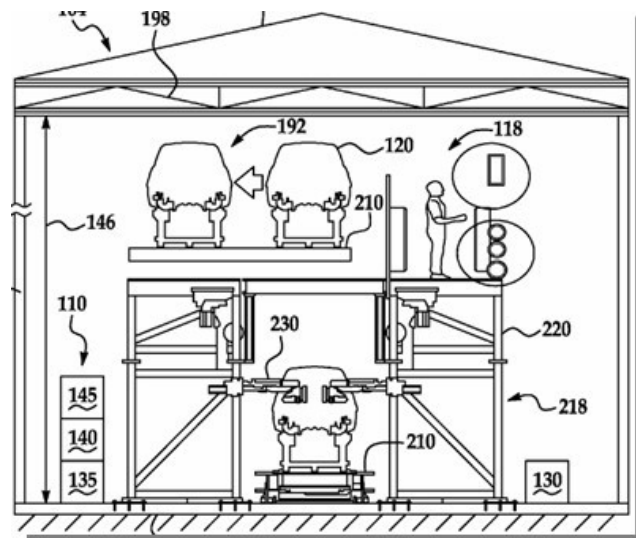


Figura 5. Ejemplo de edificio modular con una estación de ensamblaje (Kilibarda et al., 2014)

También en la patente US 8789269 B2 se propone integrar los servicios de energía eléctrica y agua para los módulos por medio de otros módulos como generadores de energía y sistemas de circulación de agua autónomos. Los módulos se instalan y conectan sin la necesidad de una infraestructura pesada de planta de ensamblaje convencional, como armaduras aéreas de soporte de carga y características que alteran el sitio, como huecos o fosos en el piso para albergar y asegurar la infraestructura pesada. Los dispositivos de fabricación modular se instalan en el piso existente y las superficies de soporte y se conectan a las fuentes de servicio suministradas o modulares para su funcionamiento.

Una ventaja atractiva que ofrece la patente US 8789269 B2 es, si la producción disminuye, las estaciones de ensamblaje modular y/o los grupos de módulos de

servicio, se pueden desconectar y transferir a otra ubicación alrededor del mundo para construir el mismo producto o uno diferente. En la figura 6 se muestra una vista de una planta modular con sus servicios.

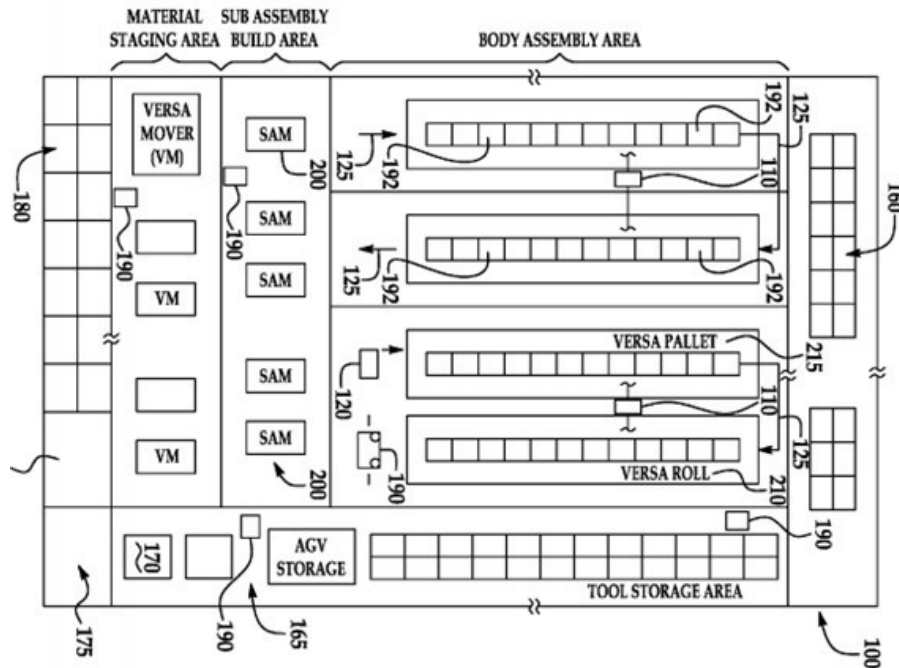


Figura 6. Ejemplo de planta modular con estaciones de servicio (Kilibarda et al., 2014)

La **patente US 5884746A** muestra una línea de ensamble modular con porta piezas, la cual se puede modificar dependiendo las estaciones de trabajo que se requieran para fabricar diferentes tipos de productos, reduciendo o incrementando las estaciones.

Las ventajas de la línea modular son que se pueden realizar sistemas de línea de montaje individualizados con una elección libre en las dimensiones principales mediante un número manejable de módulos con una funcionalidad claramente definida (Leisner & Ost, 1999). En este diseño se pueden reemplazar estaciones de trabajo manuales por estaciones automatizadas para elevar el nivel de automatización de la línea sin afectar al proceso. Esto da como resultado una producción en línea de montaje o un montaje con muchas variantes y con una ganancia considerable de productividad. La simplicidad de combinar los módulos

resulta en costos de inversión muy reducidos para la actualización del sistema de línea de ensamblaje para adaptarse a nuevos productos. La figura 7 y figura 8 muestran de forma simple la línea con los módulos separados y la línea con los módulos adaptados al flujo de la línea principal.

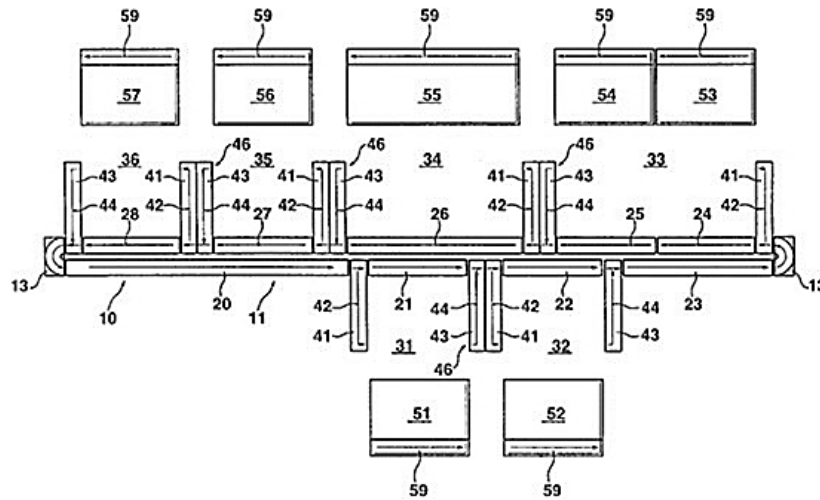


Figura 7. Línea de ensamblaje modular con los módulos separados (Leisner & Ost, 1999)

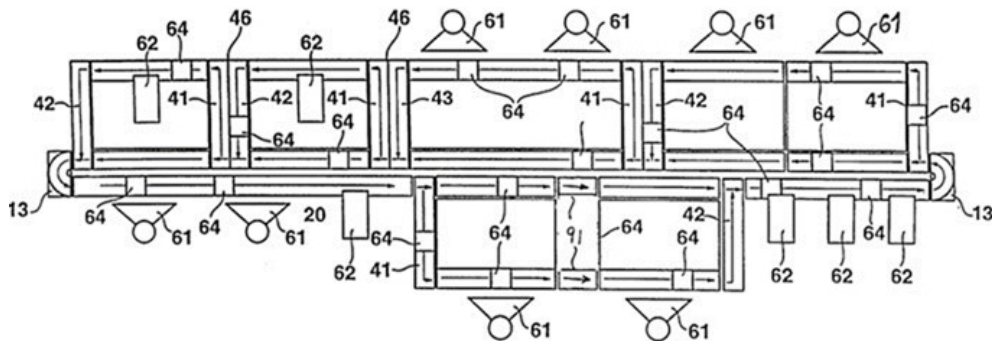


Figura 8. Línea de ensamblaje modular con los módulos unidos

## 2.6. Reconfigurabilidad

La reconfigurabilidad es la capacidad de un sistema de fabricación de reconfigurarse a bajo costo y en un período corto de tiempo (Lee, 1997). La reconfigurabilidad para la industria manufacturera es una metodología que propone la capacidad de fabricar productos, respondiendo a los cambios repentinos que hoy en día demandan las fluctuaciones del mercado por las

necesidades de los consumidores. No obstante, cabe señalar que, para que un sistema reconfigurable productivo tenga éxito, debe tener una estrecha relación con el diseño de los productos que fabrica como también la cantidad y tipo de procesos que necesitan para su fabricación, no se puede fabricar en una misma línea productiva neumáticos automotrices y posteriormente los tableros del automóvil.

### **2.6.1. Sistema de fabricación reconfigurable**

Los sistemas de producción modernos cuentan con ciclos de vida muy cortos y su número de variaciones de productos sigue aumentando. Con tal aumento en la frecuencia de nuevos productos, se ha optado por el sistema de fabricación reconfigurable que cambiaría rápidamente de manera rentable para satisfacer diferentes condiciones de demanda de productos en términos de variación en volumen y características. El sistema de fabricación reconfigurable se desarrolló aprovechando las ventajas de los altos volúmenes de producción en líneas de fabricación dedicadas y la flexibilidad de los sistemas de fabricación flexibles con el objetivo específico de mejorar la capacidad de respuesta del sistema de fabricación a cualquier cambio en la demanda del producto (Sibanda et al., 2021).

El sistema de fabricación reconfigurable se basa en integrar maquinaria con procesos específicos uniéndolos en una misma máquina, con el fin de evitar inversiones y costos de producción al tener máquinas utilizadas en un porcentaje mínimo; Con este sistema se busca darle utilidad a la maquinaria en un 100% en relación con los productos que se fabrican.

Otro aspecto con el cual funciona este sistema radica en desarrollar máquinas receptivas que se puedan ajustar o cambiar funcionalmente para la introducción de nuevos productos sin tener que realizar cambios sustanciales, el objetivo principal de esto, es adaptar la funcionalidad de la máquina cambiando su geometría estructural para adaptarse a la producción de una nueva pieza o familia de piezas, agregando o restando dispositivos de la máquina. La reconfigurabilidad de cualquier sistema de fabricación puede definirse como la

capacidad del sistema de reconfigurarse a un costo y tiempo mínimos (Pansare et al., 2021).

## 2.7. Maquinaria

Las máquinas productivas que se utilizan en la industria manufacturera se diseñan de acuerdo con el producto que van a crear, como ejemplo existen para la industria alimenticia, textil, farmacéutica, electrónica, automotriz, entre otras. Actualmente, la maquinaria está clasificada por la industria manufacturera en dos tipos, las máquinas con función mecánica o convencional y las máquinas electrónicas; La diferencia entre los dos tipos, es que las de función mecánica no requieren de la ayuda de un sistema inteligente para que realicen su trabajo, estas funcionan solamente con movimientos mecánicos por medio de motores, cigüeñales, rótulas, bielas, poleas, etc., en cambio, las máquinas electrónicas requieren para su funcionamiento de un sistema inteligente PLC (Controlador lógico programable) el cual gobierna a la máquina para que realice movimientos controlados por parámetros de tiempo, distancia, fuerza y velocidad.

Las máquinas se conforman de varios elementos o módulos que en conjunto puede realizar procesos varios, para la creación de productos; por mencionar algunas de las partes que las conforman, se expone la siguiente lista:

- Control eléctrico y electrónico.
- Transformador de potencia eléctrica.
- PLC y control de mando.
- Sistemas de trazabilidad.
- Estructura mecánica o cuerpo de máquina y cubiertas de máquina.
- Actuadores eléctricos, neumáticos e hidráulicos.
- Válvulas neumáticas, hidráulicas y sus conexiones.
- Dispositivos de atornillado, prensado, engargolado, dosificado, etc.
- Sensores, sistemas de visión y sistemas de seguridad.
- Servomotores, robots, motores, alimentadores de componentes.
- Sistemas giratorios y bandas transportadoras con porta piezas.



- Herramientales de cambio.

Todos los elementos antes mencionados se utilizan para fabricar maquinaria especializada con uno a varios procesos en específico, posteriormente cada máquina fabricada, se utilizará para formar líneas productivas dentro de la industria, donde el diseño de la línea será seleccionado de acuerdo con el giro de la empresa, su nivel de riqueza, espacio disponible y el volumen a ser producido, estos datos son de suma importancia para generar las especificaciones técnicas con las que deberá ser fabricada cada máquina.

### **2.7.1. Maquinaria y la industria 4.0**

En la actualidad con el desarrollo y la introducción de las tecnologías innovadoras, los fabricantes de los elementos o dispositivos de máquinas e integradores de estas se están involucrando en la industria 4.0, la cuarta revolución industrial. Los modelos de fabricación se están transformando profundamente con la digitalización emergente. Las tecnologías inteligentes como inteligencia artificial (IA), *big data*, Internet de las cosas (IoT), gemelo digital, permiten a las empresas optimizar procesos, aumentar la eficiencia y reducir el desperdicio a través de una nueva fase de automatización (Akyazi et al., 2020), a estos sistemas de producción inteligente se les denomina "fábricas inteligentes". Las fábricas inteligentes integran procesos de producción, comunicación, computación y control en sistemas de fabricación automatizados, digitalizados y sensibles al contexto para ganar en la optimización de los modelos comerciales.

Las máquinas conectadas a la industria 4.0 cuentan con sensores, tecnologías informáticas y conectividad de red, flexibilidad, previsibilidad de la inteligencia y respuesta en tiempo real. De ahí que las máquinas sean capaces de recopilar e intercambiar datos en tiempo real sobre su estado y rendimiento, así como sobre su entorno, aportando transparencia en el proceso productivo. La integración de estas tecnologías inteligentes en el sector cumple una función principal en particular: mayor productividad, ya que las ventajas tecnológicas que ofrece la tecnología es optimizar los procesos, mejorar la calidad del producto, reducir el

tiempo ciclo y reducir el descarte mediante la solución de problemas en tiempo real y el control del proceso, además de ofrecer servicios novedosos como el mantenimiento predictivo.

Como ventaja adicional de la industria 4.0 es la trazabilidad o recopilación de datos, datos que son tomados por los sensores, sistemas inteligentes más las conexiones de red. Con estos datos se pueden realizar análisis de tiempos productivos, tiempos efectivos y no efectivos de la máquina, uso efectivo de los recursos como energía eléctrica, neumática, etc., todos estos datos se pueden utilizar para optimizar los procesos, maximizar la eficiencia energética y reducir los desperdicios en general necesarios para el proceso productivo.

### **2.7.2. Maquinaria especializada (por proceso de fabricación)**

Las máquinas especializadas se diseñan y fabrican para adaptarse a la industria manufacturera, estas máquinas en general requieren de precisión para trabajar con espacios o componentes pequeños. Por ejemplo, se diseñan para perforar, soldar, remachar, prensar, ensamblar, punzonar, dosificar, atornillar, etc. A este tipo de máquinas se agregan los procesos mencionados con la finalidad de producir de forma sistemática y repetitiva, sin hacer esfuerzos extraordinarios y tener tiempos de procesos optimizados o adecuados para un tiempo ciclo determinado.

Enseguida se realiza una breve explicación de algunos de los procesos los cuales son adaptados en las máquinas especiales.

#### **Atornillado**

Los procesos de atornillado son típicos en la producción de piezas y la forma más común de unirlos mediante el uso de atornilladores automáticos. El apriete de los sujetadores consiste en girar un tornillo de avance (desplazamiento angular) y un par (momento de giro) para generar una tensión. Las curvas de ángulo de torsión brindan información relevante para calificar adecuadamente la capacidad de las herramientas de apriete. El par requerido varía según las condiciones de las

superficies de contacto, los tipos de rosca, las propiedades del material, etc. (Teixeira et al., 2019).

Para realizar el atornillado se utilizan diferentes dispositivos, tanto manuales como automáticos, estos últimos se adaptan a las máquinas para realizar el proceso automáticamente (ver fig. 9), el nivel de automatización depende de las necesidades y la inversión que se realiza para adaptarlos a las máquinas de ensamble. Los atornilladores automáticos se adaptan a las máquinas desde una herramienta hasta seis u ocho, esto depende del proceso que van a desempeñar.



Figura 9. Atornillador montado a robot colaborativo

### **Ensamble mecánico**

El proceso de ensamble mecánico se utiliza para ensamblar piezas a presión, estas piezas deben tener una diferencia en tamaño suficiente, pero no excesiva, para quedar unidas por medio de la interferencia creada entre ellas. Los productos más populares que se conocen con esta particularidad de ensamble son los baleros, no obstante, existen más productos los cuales se unen con este tipo de proceso por ejemplo poleas, engranes, pernos, etc.

Las máquinas utilizadas para realizar este proceso son variadas, desde las mecánicas, hidráulicas hasta las que cuentan con servo-cilindros, actualmente y

por cuestiones de calidad, se ha optado en la industria por tener prensas servo asistidas para controlar la inserción (ver fig. 10), ya que los servo-cilindros tienen la capacidad de controlar y monitorear la velocidad, la fuerza y distancia con la que realizan la inserción o unión de las partes a ensamblar; las servo-prensas también tienen la capacidad de graficar el proceso para tener una visión más precisa del proceso de ensamble.



(SCHMIDT® Technology, s. f.)

Las prensas en general son las máquinas más usadas en la industria manufacturera para la fabricación de productos, estas máquinas son de gran utilidad y se han usado desde la revolución industrial hasta la actualidad; Las prensas de preferencia son usadas para el proceso de forja, proceso de inyección, troquelado, perforado, doblado, punzonado, embutido, estampado entre otros.

### **Etiquetado**

Todo producto terminado debe estar identificado para la entrega al cliente, por tal motivo el proceso de etiquetado es fundamental para la identificación de este, también, la identificación de los productos es necesaria porque en la actualidad se fabrican familias de productos con pequeñas variantes y estos deben de ir al cliente debidamente identificados. El proceso de etiquetado se realiza de forma

manual y de forma automática como se ve en la figura 11, este proceso inicia con una impresora la cual impregna la información de identificación para el producto con tinta, sobre una etiqueta plástica que tiene en una de sus caras adhesivo para poder ser adherido al producto. El proceso de etiquetado además de identificar el producto también sirve a la empresa fabricante para tener una trazabilidad de cada pieza producida, dicha trazabilidad depende de los sistemas integrados en cada empresa en particular.



Figura 11. Etiquetadora automática para botellas  
(DirectIndustry, s. f.)

### **Alimentadores automáticos de componentes**

Los alimentadores de componentes son dispositivos de ayuda sustancial para las líneas productivas, estos reemplazan la intervención del operador para cargar los componentes, debido a que los suministran automáticamente en los pasos intermedios de la construcción del producto. Los alimentadores se adaptan en conjunto con las máquinas productivas para proveerles el componente a ser integrado al producto en sus fases de construcción; Existen diferentes tipos de alimentadores de componentes, los más populares son los tazones vibratorios como se ve en la figura 12, aunque también existen los de disco giratorio, escalonados, *pick and place* (tomar y colocar) y los adaptados con robots.

Los alimentadores tienen la particularidad de posicionar predeterminadamente los componentes de forma correcta o en condición del sentido que deben ser colocados para su ensamblaje, esto se logra por el diseño de la forma que se les da a guías de salida adaptadas en los alimentadores. Los componentes más comunes que se suelen suministrar por medio de alimentadores son los de dimensiones pequeñas, como por ejemplo tuercas, tornillos, remaches, arandelas, tapones, etc.



Figura 12. Alimentador vibratorio circular de tornillos  
(AliExpress, s. f.)

### **Conveyors (transportadores)**

Los *conveyors* (ver fig. 13) son parte fundamental para realizar de manera más sencilla, rápida y efectiva la transportación de los productos entre las estaciones de trabajo a lo largo de las líneas de ensamble. El objetivo principal de los transportadores es el manejo del material.

La siguiente lista contiene algunas ventajas de implementar *conveyors* en las líneas de ensamble:

- Reduce el manejo manual de los productos al mínimo.
- Realiza todas las operaciones de manipulación al mínimo costo.
- Elimina todas las posibles operaciones manuales al mínimo.

- Facilita la carga de trabajo para todos los operadores.
- Mejora las condiciones ergonómicas para cada operador.
- Mejora la carga de trabajo entre operadores.
- Proporciona opciones de ruta para un flujo de trabajo inteligente.
- Incrementa el rendimiento.
- Llevan el producto donde no sería seguro hacerlo manualmente. (McGuire, 2009)

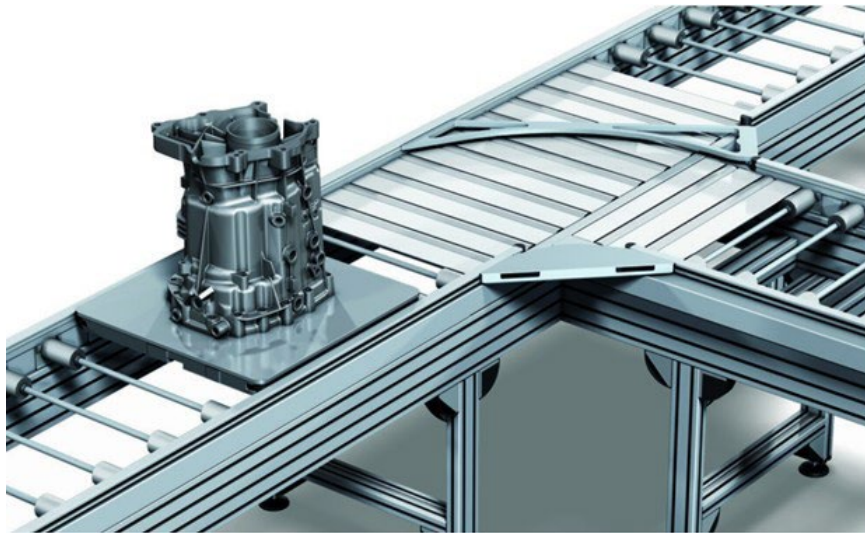


Figura 13. Sección de conveyor con pallet portando un motor (Factory of the Future Assembly, s. f.)

Los *conveyors* para productos se adaptaban en el pasado al lado de las máquinas de producción y solo tenían como objetivo transportar los productos a lo largo de la línea, en la actualidad los *conveyors* se han adaptado dentro de las máquinas productivas para tener una mayor eficiencia productiva y que el operador no manipule las piezas evitando un mal manejo de los productos y obteniendo la trazabilidad de estos a lo largo de la línea hasta obtener el producto terminado. Los *conveyors* más utilizados en las líneas de ensamble, cuentan con placas plásticas o metálicas (*pallets*) para transportar los productos sobre las mismas y así en cada proceso de la línea irle adaptando componentes o procesos al producto.



## Herramientales para máquinas especializadas

Los herramientales para máquinas especializadas son un elemento muy importante para que estas puedan desarrollar el proceso para el cual están diseñadas. Los herramientales especializados se fabrican para que se puedan cambiar de manera rápida en tiempos menores a 1 minuto por cada uno de ellos (ver fig. 14), de tal manera que una línea completa de ensamble pueda desarrollar un cambio de código o producto en menos de 10 minutos, siguiendo la metodología SMED (*Single Minute Exchange Die*), cambio de útiles en minutos de un solo dígito.

El diseño para los herramientales especiales proviene de la forma que tienen los productos a ser fabricados en las máquinas, ya que deben posicionarse sobre o debajo de ellos dichos productos. Los herramientales normalmente se emplean para transportar, mantener y ejecutar los procesos de transformación en los productos a ser elaborados. En estricta teoría, los herramientales son dispositivos que tienen contacto directo con los productos a ser fabricados. En porcentaje más del 50% de herramientales para las líneas de ensamble están fabricados con acero y algunos de ellos se requieren con tratamientos térmicos para soportar las cargas o presiones ejercidas por las máquinas de producción.

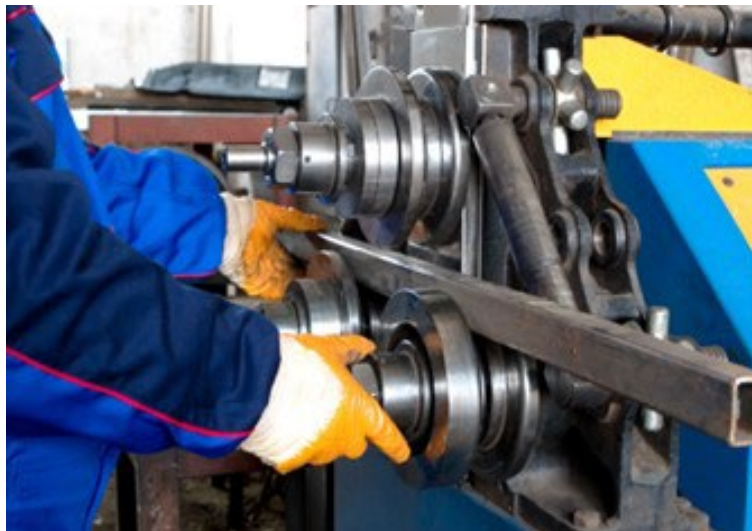


Figura 14. Cambio de herramienta en una dobladora de lámina (ZADECON, s. f.)



## 2.8. Ajustes y tolerancias mecánicas

El ajuste y las tolerancias son parte fundamental en el diseño y ensamble de una máquina y de forma macro, para la integración de una línea completa; Esta es una actividad necesaria para lograr con efectividad el ensamble de todas las partes que conforman la estructura mecánica de una máquina; Dependiendo las tolerancias que se le den al conjunto o ensamble de las piezas, estas serán ensambladas con ajustes a presión o forzados, deslizables, giratorios y holgados, todo dependerá de la función que se requiera desempeñar en determinada unión de partes. Para que el ajuste seleccionado en determinadas piezas a ensamblar tenga la dimensión deseada, es necesario considerar las tolerancias que tendrán dichas piezas, la tolerancia es un sistema que interactúa de manera implícita para poder lograr dichos ajustes.

**Tolerancia** se define como la variación admisible del valor de una dimensión y se aplica a la fabricación de piezas, especialmente para piezas fabricadas en serie.

**Ajuste** es la relación mecánica que existe entre dos piezas que pertenecen a una máquina o elemento industrial, cuando una de ellas se encaja o empotra en la otra (Roldán, 2019).

El nombre de tolerancia se le da al error admisible de una medida y a la diferencia entre las cotas límite (máximo y mínimo) de una dimensión dada (ver fig. 15).

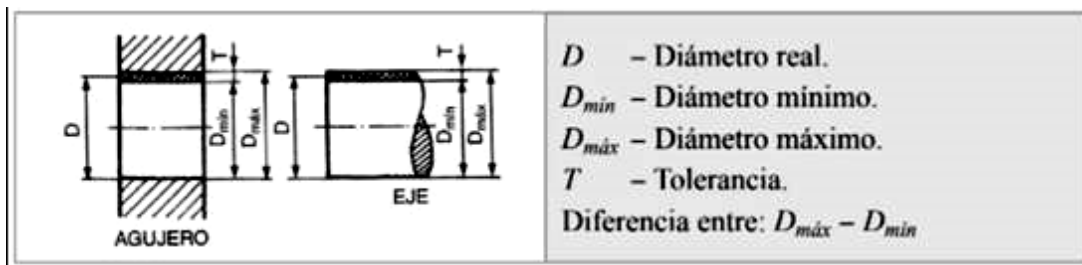


Figura 15. Relación del eje y agujero más tolerancia (Roldán, 2019)

La unidad de tolerancia en el cual se fundamenta el sistema ISA corresponde a la siguiente relación de la tabla 1.

Tabla 1. Tolerancia empleada en el sistema ISA

$\mu = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D \quad (\text{micras})$ $1\mu = 1/1.000.000 = 0,000.001 \quad (\text{m})$ $1\mu = 1/1.000 = 0,001 \quad (\text{mm})$	<p><math>D</math> – Diámetro, en mm.</p> <p><math>\mu</math> – Micras.</p> <p><b>Nota:</b> El valor de la tolerancia está considerado y medido a 20 °C.</p>
---	---

(Roldán, 2019)

La tolerancia ISA es utilizada para agujeros y ejes donde existe una tolerancia respecto de la línea cero y se cataloga con letras. Las piezas exteriores “agujeros” se representan con letras mayúsculas de la “A” a la “Z” y las piezas interiores “ejes” por letras minúsculas también de la “a” a la “z”, solo se excluyen las siguientes letras de ambos casos: i, l, ñ, o, q, w. Con respecto al eje y al agujero se denomina la relación para diámetro y tolerancia ejemplificada en la figura 16.

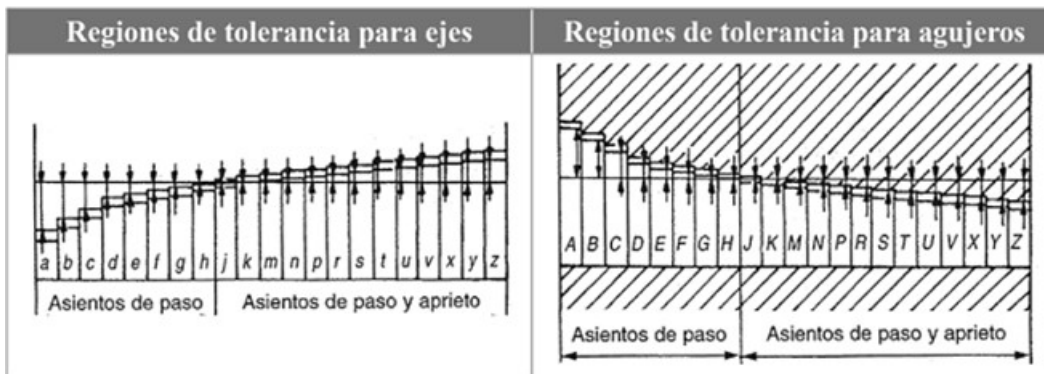


Figura 16. Posición de la tolerancia para agujeros y ejes (Roldán, 2019)

Las clases de tolerancia con respecto a la nomenclatura indicada, de la “a” a la “z”, se determinan en un plano de fabricación para asignar el tipo de ajuste que será requerido para el ensamble de piezas; Dependiendo de la asignación de letra conforme a la secuencia del abecedario, va incrementando el ajuste (ver fig. 16). Como el ejemplo mostrado en la figura 16 para los ejes se utiliza la letra **h** minúscula para sus zonas de tolerancia, cuyo límite superior se encuentra en la línea cero y, por el contrario, se utiliza la letra **H** mayúscula, para los agujeros en sus zonas de tolerancia cuyo límite inferior se encuentra en la línea cero.

En la tabla 2 se muestran los tres tipos de ajuste principales para los ejes y agujeros agrupándolos por rangos de nomenclatura específicos.

Tabla 2. Clases de tolerancia dependiendo su nomenclatura para ajustes

Agujero único <b>(h)</b>	Campos de tolerancias para ejes		
	a, b, c, d, e, f, g, h	j, k, m, n	p, r, s, t, u, v, x, y, z za, zb, zc
Ajustes con juego	Ajustes intermedios	Ajustes con aprieto	
Eje único <b>(H)</b>	Campos de tolerancias para agujeros		
	A, B, C, D, E, F, G, H	J, K, M, N	P, R, S, T, U, V, X, Y, Z ZA, ZB, ZC
Ajustes con juego	Ajustes intermedios	Ajustes con aprieto	

(Roldán, 2019)

En la figura 17, se muestra la relación que hay de los ejes y agujeros en cuanto al tipo de ensambles existentes, dichos ensambles se denominan de igual manera para cada componente.

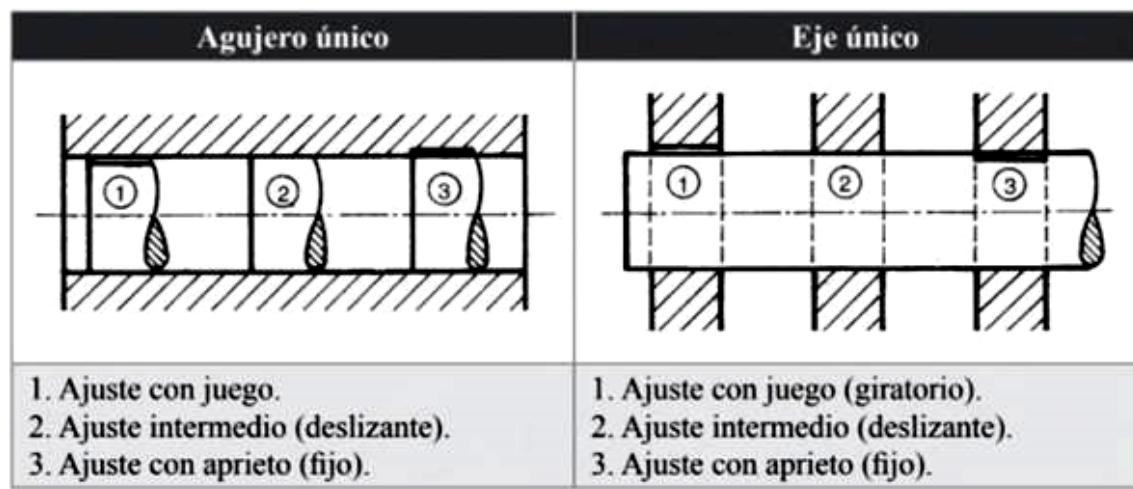


Figura 17. Referencia de ajustes del eje y agujero  
(Roldán, 2019)

La tolerancia tiene un nivel de calidad de acuerdo con las normas y se divide en una escala numérica IT, que varía dependiendo el grado de precisión dimensional

que se requiere obtener. La tabla 3 muestra los valores de tolerancia para cada IT establecida en función de la dimensión nominal. En la tabla 3 la tolerancia está expresada en micras y va aumentando para cada valor mayor de IT, por tal motivo para las piezas más grandes la exigencia es menor en su fabricación. Cabe destacar que una micra es una milésima parte de un milímetro, expresándolo de forma numérica tenemos lo siguiente 0.001mm.

Tabla 3. Tabla de valores de tolerancias para cada IT

Calidades	Aplicaciones
IT-01 a IT-5	Construcción de calibres de control y en mecánica de alta precisión.
IT-6 a IT-11	En mecánica de precisión y para piezas que ajusten entre sí.
IT-11 a IT-16	En trabajos de fabricación basta, como laminación, estampación, etcétera.

Tabla 10.1. Valores numéricos de las tolerancias fundamentales

Grupos de diámetros (mm)	Calidades de tolerancia																	
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16
Hasta 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600
3 a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6 a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10 a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1.100
18 a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1.300
30 a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1.000	1.600
50 a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1.200	1.900
80 a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1.400	2.200
120 a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1.000	1.600	2.500
180 a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1.150	1.850	2.900
250 a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1.300	2.100	3.200
315 a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1.400	2.300	3.600
400 a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1.550	2.500	4.000

(Roldán, 2019)

En la tabla 4, se muestran los ajustes recomendados por el sistema de estandarización ISO de acuerdo con su nomenclatura. En la tabla mostrada se ejemplifican algunos productos o piezas con el tipo de ajuste recomendado o utilizado para su ensamble.

Tabla 4. Tipo de ajustes recomendados ISO

Agujero único		Eje único		Características del asiento	Ejemplo
<b>H8</b>	x8	—	—	Prensado duro	Coronas de bronce, ruedas
<b>H8</b>	u8	—	—	Montaje a prensa. No necesita seguro	—
<b>H7</b>	s6	—	—	Prensado. Montaje a prensa	Piñón motor
<b>H7</b>	r6	—	—	Prensado ligero. Necesita seguro	Engranajes de máquinas
<b>H7</b>	n6	—	—	Muy forzado. Montaje a martillo	Casquillos especiales
<b>H7</b>	k6	—	—	Forzado. Montaje a martillo	Rodamientos a bolas
<b>H7</b>	j6	—	—	Forzado ligero. Montaje a mazo	Rodamientos a bolas
<b>H7</b>	h6	—	—	Deslizante con lubricación	Ejes de lira
<b>H8</b>	h9	—	—	Deslizante sin lubricación	Ejes de contrapunto
<b>H11</b>	h9	—	—	Deslizante. Ajuste corriente	Ejes de colocaciones
<b>H11</b>	h11	—	—	Deslizante. Ajuste ordinario	Ejes-guías atados
<b>H7</b>	g6	G7	h6	Giratorio sin juego apreciable	Émbolos de freno
<b>H7</b>	f7	F8	h6	Giratorio con poco juego	Bielas, cojinetes
<b>H8</b>	f7	F8	h9	Giratorio con juego	Bielas, cojinetes
<b>H8</b>	e8	E9	h9	Giratorio con gran juego	Cojinetes corrientes
<b>H8</b>	d9	D10	h9	Giratorio con mucho juego	Soportes múltiples
<b>H11</b>	c11	C11	h9	Libre (con holgura)	Cojinetes de máquinas agrícolas
<b>H11</b>	a11	A11	h11	Muy libre	Avellanados, taladros de tornillos

(Roldán, 2019)

Para la asignación numérica de tolerancias en los planos de fabricación de piezas, se debe realizar como se muestra en la tabla 5, se asignan números ya sea para generar ajustes deslizantes, holgados o a presión, dicha numeración tolerada se les coloca a las medidas de forma nula (cero), positivamente, negativamente o en ambos lados.

Tabla 5. Ajustes de tolerancias numéricas referenciadas en planos

<p><b>Ejemplo 1.</b> Sin error en (+) y (-).  <math>150 \pm 0</math></p>	<p><b>Ejemplo 2.</b> Sin error en (+) y con error en (-).  <math>150 \begin{matrix} +0 \\ -0,015 \end{matrix}</math></p>
<p><b>Ejemplo 3.</b> Con error en (+) y sin error en (-).  <math>150 \begin{matrix} +0,015 \\ -0 \end{matrix}</math></p>	<p><b>Ejemplo 4.</b> Con error en (+) y en (-) diferente.  <math>150 \begin{matrix} +0,012 \\ -0,008 \end{matrix}</math></p>
<p><b>Ejemplo 5.</b> Con el mismo error en (+) y (-).  <math>150 \pm 0,003</math></p>	<p><b>Ejemplo 6.</b> Con límites de error del mismo signo.  <math>150 \begin{matrix} +0,15 \\ +0,009 \end{matrix} \quad 150 \begin{matrix} -0,5 \\ -0,11 \end{matrix}</math></p>
<p><b>Ejemplo 7.</b> Tolerancias para ejes y agujeros. <math>\Phi e = 200 h5</math>    <math>\Phi a = 200 H5</math></p>	

(Roldán, 2019)

## 2.9. AMEF de proceso

El Análisis del Modo y Efecto de Fallas, también conocido como **AMEF o FMEA** por sus siglas en inglés *Failure Mode Effect Analysis*, nació en Estados Unidos a finales de la década del 40. Esta metodología desarrollada por la NASA se creó con el propósito de evaluar la confiabilidad de los equipos, en la medida en que determina los efectos de las fallas de estos (Salazar, 2019).



### 3. RESULTADOS

Tomando como base la metodología del diseño mecánico, para esta propuesta se inicia con la identificación de una necesidad en la planta productiva de ZF Guadalajara; Dicha necesidad nace de la cancelación o término de una de las dos líneas de pintura electrostática existentes en planta, utilizada para pintar los amortiguadores, lo que obliga a mejorar las líneas de ensamble final que recibirán el material pintado de la única línea de pintura que quedará habilitada, buscando principalmente tener mayor capacidad productiva, y que esta línea produzca con menos defectos, evitando los reclamos del cliente por mal manejo del material defectuoso. Las líneas para los ensambles finales de amortiguadores que existen actualmente en la planta, después de la línea de pintura electrostática, están conformadas básicamente por:

1. Banda de transporte para los amortiguadores.
2. Máquinas independientes para ensamble de componentes individuales.
3. Operadores por cada estación de trabajo y maquinaria.

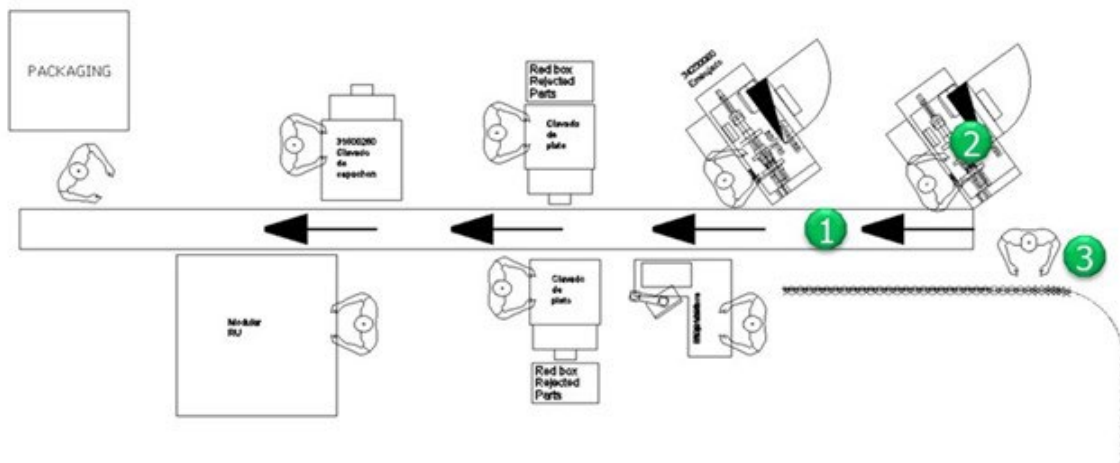


Figura 18. Ejemplo de línea para el ensamble final de amortiguadores  
Elaboración propia

Esta línea mostrada en la figura 18 está configurada para realizar el ensamble final de los amortiguadores traseros y delanteros y tiene las siguientes características:

- Concepto de línea con 8 a 10 operadores dependiendo el tipo de amortiguador a fabricar o su cantidad de componentes.

- Flujo de línea pieza a pieza con tiempo ciclo de 5 segundos y OEE del 65%.
- Capacidad productiva total por año 2,843,100 piezas.

El cálculo para la capacidad productiva en una línea utilizado por la compañía se obtiene de multiplicar la cantidad de piezas por hora que produce la línea por el porcentaje de OEE y las horas de trabajo disponibles al año, véase ecuación 5:

$$Capacidad = \left(\frac{720 \text{ pzas}}{\text{hora}}\right) (65\% \text{ OEE}) \left(\frac{6075 \text{ horas}}{\text{año}}\right) = 2,843,100 \text{ pzas/año} \quad Ec(5)$$

En la tabla 6 se muestra el cálculo de la línea de ensamble final donde cada una de sus líneas contiene:

- Línea 1: Descripción del año.
- Línea 2: Volumen de piezas a producir por cada año mostrado.
- Línea 3: Capacidad productiva por cada línea obtenido del cálculo.
- Línea 4: Disponibilidad libre de capacidad en la línea por cada año.

Tabla 6. Capacidad productiva disponible actual

	Total 2021	Total 2022	Total 2023	Total 2024	Total 2025	Total 2026	Total 2027	Total 2028
<b>Volumen de piezas por año</b>	1,514,782	1,983,061	2,046,087	1,981,317	1,875,164	1,754,864	2,254,631	2,273,363
<b>Capacidad de piezas</b>	2,843,097	2,843,097	2,843,097	2,843,097	2,843,097	2,843,097	2,843,097	2,843,097
<b>Disponibilidad de piezas</b>	1,328,315	860,036	797,010	861,780	967,933	1,088,233	588,466	569,734

Elaboración propia

En la figura 19 se muestra un gráfico donde las líneas punteadas indican la capacidad real que puede producir la línea de ensamble al año con 65% de OEE, la capacidad actual se muestra con las barras y lo que se espera producir con la cancelación de una línea de pintura lo indica la línea roja; La necesidad es fabricar 3,280,000 piezas al año, para cumplir con la demanda de los clientes, y puede ser logrado incrementando el OEE al 75%.



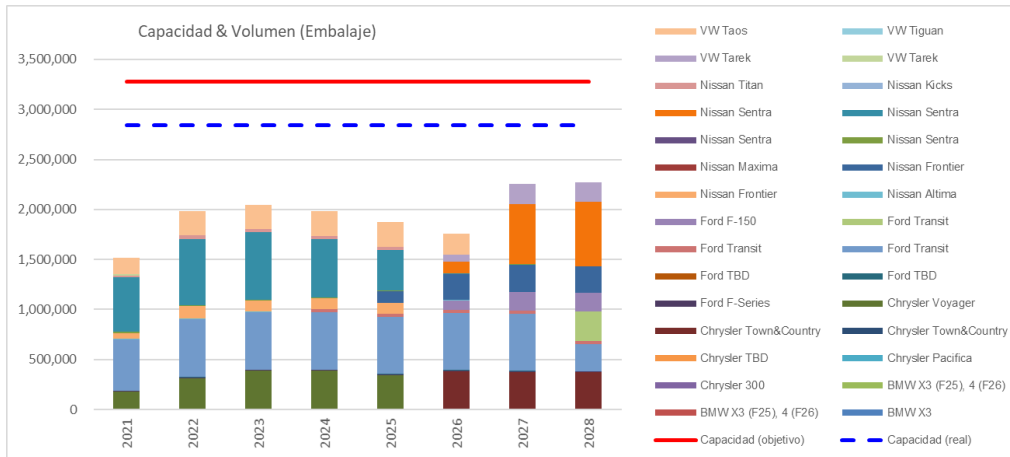


Figura 19. Gráfico de capacidad de la línea de ensamble final  
Elaboración propia

### 3.1. Descripción de los procesos actuales de la línea

A continuación, se realiza una breve descripción de los procesos con los cuales cuenta la línea de ensamble para la fabricación final de los amortiguadores y *STRUT*. En esta línea se ensamblan los componentes que llevan por fuera de su cuerpo los amortiguadores y *STRUT*, proceso posterior al ensamble interno (hidráulico). La figura 20 muestra el ejemplo de un amortiguador y un *STRUT* con sus componentes modulares o finales.

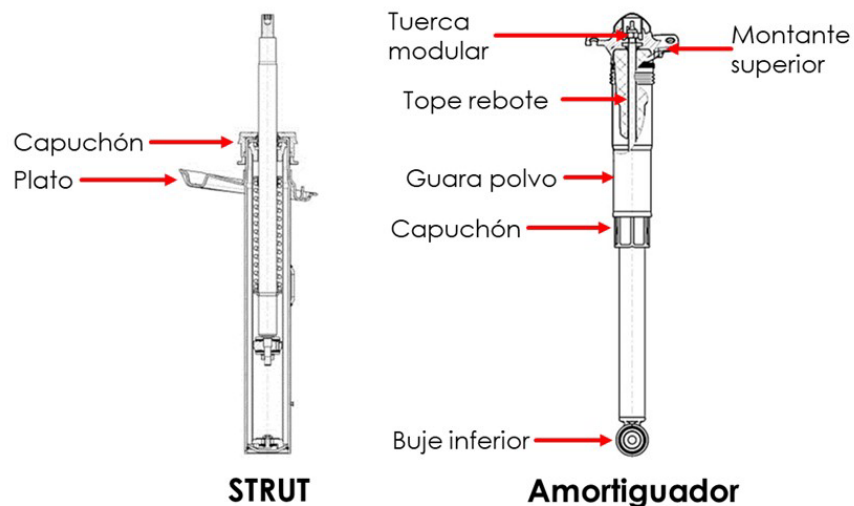


Figura 20. Imagen con *STRUT* y amortiguador más componentes finales  
Elaboración propia

### 3.1.1. Descarga manual de amortiguadores de cadena de pintura

El primer paso de la línea de ensamble final es la descarga de los amortiguadores de la cadena de pintura (ver fig. 21) y se realiza como se describe a continuación:

1. Operador toma amortiguador y lo descuelga desatornillándolo del gancho.
2. Operador coloca amortiguador o STRUT en banda para proceso posterior.



Figura 21. Descarga manual de la cadena de pintura  
Elaboración propia

### 3.1.2. Ensamble de buje inferior y superior

El ensamble de buje inferior y superior se realiza en una prensa hidráulica semiautomática diseñada en forma horizontal, en ella se pueden ensamblar bujes con revestimiento exterior de acero, hule y plástico, estos bujes se insertan en el ojal de acero inferior y superior de los amortiguadores (ver fig. 22). Los pasos para el ensamble del buje se ejecutan de la siguiente manera:

1. Operador toma buje y lo coloca en herramental de inserción.
2. Operador toma amortiguador y lo inserta en porta ojal contrario a la inserción.
3. Operador presiona botón de inicio y la máquina ensambla el buje en el ojal.
4. Máquina regresa a posición inicial y operador retira pieza terminada.



Figura 22. Máquina e imagen del ensamble de bujes  
Elaboración propia

### 3.1.3. Inserción manual de guardapolvo

El guardapolvo es un componente que no permite la saturación de polvo y agua sobre el retén y flecha que evita el desgaste prematuro del amortiguador, se ensambla manualmente aplicando presión sobre el guardapolvo contra el platillo del ojal superior en el amortiguador (ver fig. 23). El guardapolvo cuenta con unas costillas o muescas en ángulo, que hacen fácil su inserción, pero difícil su extracción. Los pasos para su ensamble son los siguientes:

1. Operador toma amortiguador le inserta el guardapolvo manualmente.
2. Operador apoya amortiguador sobre una base fija al piso.
3. Operador ejerce presión en la camisa para insertarla en el amortiguador.
4. Operador coloca pieza terminada en banda para proceso posterior.

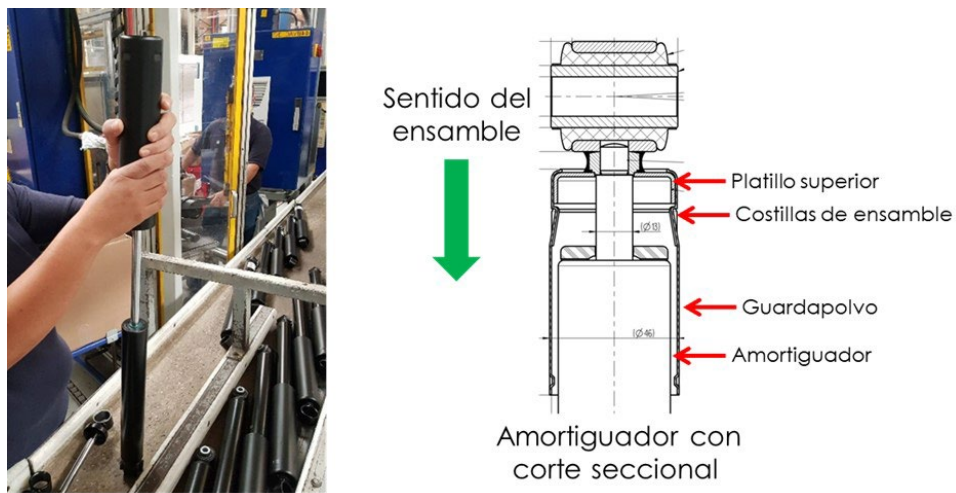


Figura 23. Esquema del ensamble del guardapolvo  
Elaboración propia

### 3.1.4. Etiquetado manual

El etiquetado se realiza en una estación manual, donde se coloca el amortiguador sobre un *fixture* para pegarle la etiqueta impresa (ver fig. 24). La etiqueta contiene los datos del cliente y número de parte de ZF; Dicha etiqueta sale de una impresora que adhiere tinta sobre una etiqueta base con superficie plástica, la cual está montada sobre un rollo de 500 etiquetas. Los pasos para la colocación de la etiqueta son los siguientes:

1. Operador toma amortiguador de la banda y lo coloca en el *fixture*.
2. Operador presiona botón de inicio para la impresión de la etiqueta.
3. Operador toma y adhiere la etiqueta impresa al amortiguador.
4. Operador coloca pieza etiquetada en banda para proceso posterior.

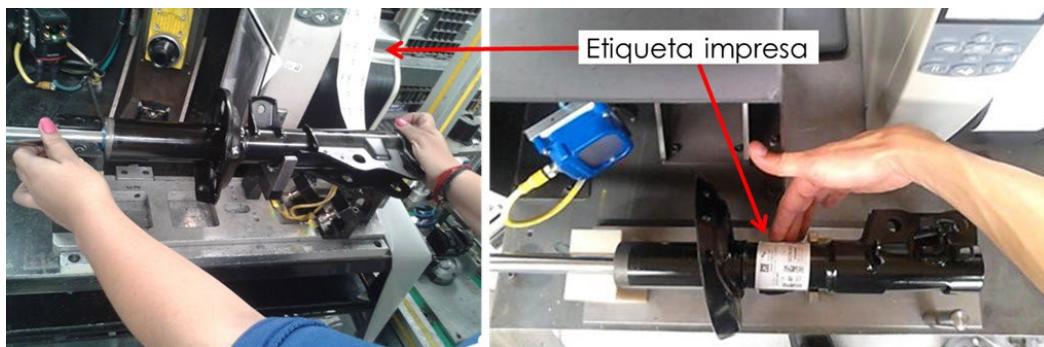


Figura 24. Colocación de etiqueta impresa en amortiguador  
Elaboración propia

### 3.1.5. Ensamble de plato y capuchón

Este ensamble se realiza en una prensa vertical semiautomática. En este proceso se ensamblan dos componentes a la vez en el exterior del cuerpo del amortiguador y *STRUT*; Dicho ensamble se logra por las interferencias entre componentes, el plato se ensambla en unas protuberancias que se troquelan al cuerpo del amortiguador y *STRUT* y el capuchón se ensambla en la parte superior del tubo (ver fig. 25). El proceso de ensamble se realiza de la siguiente manera:

1. Operador toma amortiguador o *STRUT* de banda transportadora.
2. Operador toma e inserta plato y capuchón en amortiguador o *STRUT*.
3. Operador coloca amortiguador o *STRUT* en máquina para el ensamble.
4. Operador presiona botón de inicio y máquina ensambla los componentes.
5. Máquina regresa a posición inicial y operador retira pieza terminada.



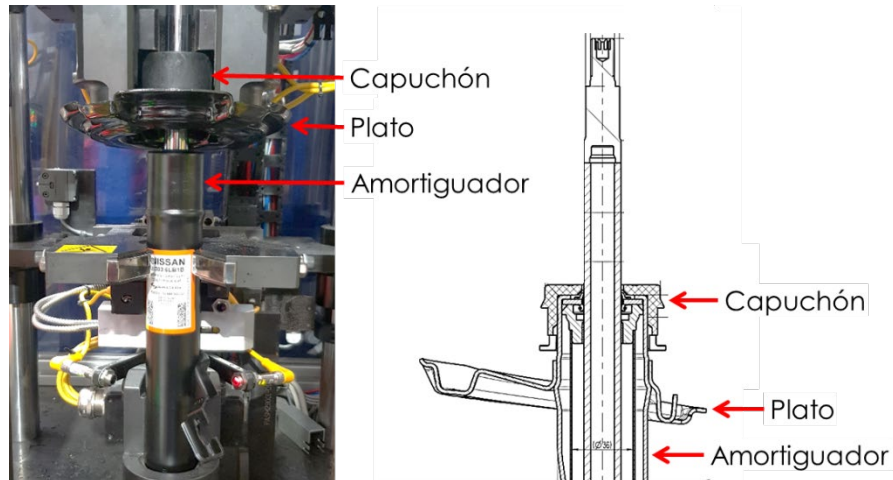


Figura 25. Ensamble de plato y capuchón en amortiguador  
Elaboración propia

### 3.1.6. Ensamble manual de componentes modulares

En el proceso de ensamble de componentes modulares (ver fig. 26) se colocan principalmente los guardapolvos ensamblados a los montantes superiores para amortiguadores traseros, también se coloca la tuerca modular para balancear la línea con el proceso posterior de atornillado de tuerca. Los pasos para el ensamble manual son los siguientes:

1. Operador toma amortiguador y lo coloca verticalmente en el *índex*.
2. Operador toma e inserta subensamblaje modular en el amortiguador.
3. Operador toma tuerca y la atornilla manualmente en la punta de la flecha.
4. Operador de la siguiente estación toma el amortiguador del *índex*.



Figura 26. Ensamble manual de componentes modulares  
Elaboración propia

### 3.1.7. Atornillado de tuerca modular

El atornillado de tuerca para amortiguadores modulares traseros se realiza en una máquina con doble atornillador, con el fin de reducir tiempo de proceso y lograr el tiempo ciclo por pieza que la línea de ensamble final requiere (ver fig. 27).

En esta máquina se le aplica el par de apriete especificado por los clientes sobre la tuerca, la cual mantiene los componentes modulares unidos al amortiguador.

Los pasos del proceso se describen a continuación:

1. Operador toma dos amortiguadores del *índex*.
2. Operador coloca los amortiguadores en la máquina de atornillado.
3. Operador presiona botón de inicio para activar proceso de atornillado.
4. Máquina aplica el par de apriete de acuerdo con el amortiguador en proceso.
5. Máquina regresa a posición inicial y operador retira piezas terminadas.
6. Operador coloca piezas terminadas en banda para proceso posterior.



Figura 27. Atornillado de tuerca en amortiguador  
Elaboración propia

### 3.1.8. Ensamble de anillo en punta de flecha a presión

Este ensamble de anillo se realiza en una prensa vertical con servo cilindro para el control de la inserción (ver fig. 28). La prensa consta de una placa que frena o bloquea el anillo al momento que un cabezal con una mordaza de sujeción jala la

flecha, para lograr el ensamble sobre un diámetro de interferencia maquinado en la flecha.

Algunos amortiguadores modulares llevan este anillo previo al ensamble de los componentes modulares y el atornillado de la tuerca. El proceso de ensamble se realiza de la siguiente manera:

1. Operador toma amortiguador de banda transportadora.
2. Operador toma e inserta anillo en flecha del amortiguador.
3. Operador coloca amortiguador en máquina para el ensamble.
4. Operador presiona botón de inicio para ensamble del anillo en la flecha.
5. Máquina regresa a posición inicial y operador retira pieza terminada.

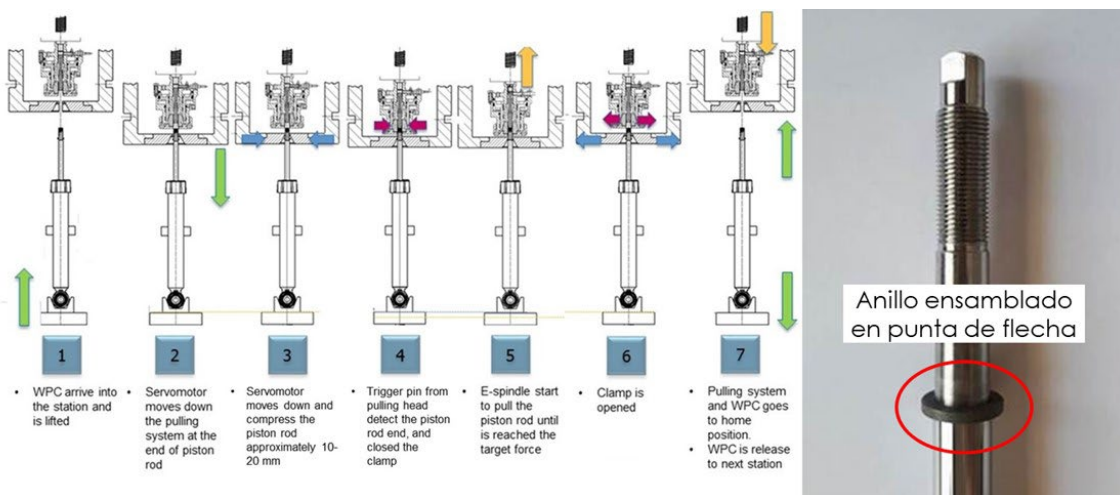


Figura 28. Esquema paso a paso del ensamble de anillo en flecha  
Elaboración propia

### 3.1.9. Inspección final y empaque de amortiguadores

La inspección final de los amortiguadores y *STRUT* terminados y el empaque de estos para su proceso de almacenaje y transporte al cliente, son dos procesos separados, pero, que están unidos en la misma estación (ver fig. 29). Este proceso unido se realiza al final de la línea y requiere de la inspección visual de los operadores para evaluar cuestiones cosméticas de las piezas terminadas y posteriormente el proceso final de empaque manual, en cajas de cartón o plásticas por cantidades de entre 30 a 80 piezas dependiendo las dimensiones de

los amortiguadores y *STRUT* o cajas individuales. El proceso final se realiza de la siguiente manera:

1. Operador 1 inspecciona defectos cosméticos de amortiguadores y *STRUT*.
2. Operador 1 libera piezas inspeccionadas sobre banda a la siguiente estación.
3. Operador 2 toma amortiguador o *STRUT* y escanea su etiqueta.
4. Operador 2 coloca pieza terminada y registrada en la caja de empaque.
5. Montacargas recoge y lleva a almacén caja llena de amortiguadores.



Figura 29. Escaneo y empaque de amortiguadores  
Elaboración propia

### 3.2. Análisis de tiempo ciclo en línea de ensamble final

Al ejecutar el análisis de toma de tiempos en la línea de ensamble final, se encontraron dos cuellos de botella. El primer cuello de botella se encuentra en la fabricación del *STRUT*, en el proceso de clavado de plato y capuchón, dicho proceso da como resultado en tiempo ciclo de 11.5 segundos por máquina, en este proceso se utilizan dos máquinas similares para poder lograr el tiempo productivo por pieza en la línea de 5 segundos.

El tiempo ciclo por pieza real en promedio dio como resultado 5.75 segundos por pieza, lo que genera como capacidad real de 2,852,606 piezas al año, tomando en cuenta un OEE del 75%, esta capacidad no logra llegar al objetivo deseado de 3,280,000 piezas al año. La tabla 7 muestra el análisis de tiempo ciclo realizado en la línea de ensamble, evaluando cada proceso para la fabricación del *STRUT* NISSAN.





La tabla 9 muestra el cálculo de capacidad por año y la capacidad disponible con un tiempo ciclo de 5.75 segundos pieza y un OEE al 75%, datos obtenidos en el análisis de tiempos para el STRUT NISSAN.

Tabla 9. Capacidad, tiempo ciclo de 5.75 segundos y OEE de 75%

	Total 2021	Total 2022	Total 2023	Total 2024	Total 2025	Total 2026	Total 2027	Total 2028
<b>Capacidad de piezas</b>	2,852,606	2,852,606	2,852,606	2,852,606	2,852,606	2,852,606	2,852,606	2,852,606
<b>Disponibilidad de piezas</b>	1,337,824	869,545	806,519	871,289	977,442	1,097,742	597,975	579,243

Elaboración propia

El segundo cuello de botella se genera en el proceso de atornillado de tuerca para los amortiguadores modulares. Al hacer el análisis de tiempo ciclo en la estación de atornillado, se obtuvo un resultado promedio de 6 segundos pieza, esto da como capacidad productiva 2,733,747 piezas por año, lo cual indica un déficit considerable para llegar a la capacidad deseada de 3,280,000 piezas. La tabla 10 muestra el análisis de tiempo ciclo realizado en la línea evaluando cada proceso para el proceso de atornillado.

Tabla 10. Tiempo ciclo de línea completa del amortiguador modular

**ZF SUSPENSION TECHNOLOGY GUADALAJARA S.A. DE C.V.**  
MANUFACTURA AVANZADA

FECHA: 07-ago-21

**CAPACIDAD DE PRODUCCION Y REQUERIMIENTO DE PERSONAL**

AREA: LINEA B1 CHRYSLER TRASERO

ITEM	DESCRIPCION	CICLO (SEG)	HRS/PZA (STD)	PZAS/HR	EQUIPO	CAP./TNO.	PERS.
10	DESCARGA AMORTIGUADOR Y QUITA GANCHOS	5.02	0.0014	717		5543	1
20	EMBUJADO	4.75	0.0013	758		5859	1
30	ETIQUETADO	5.29	0.0015	681		5260	1
40	COLOCA MONTANTE Y TUERCA	5.06	0.0014	712		5505	1
<b>50</b>	<b>TORQUE</b>	<b>5.97</b>	<b>0.0017</b>	<b>603</b>		<b>4661</b>	<b>1</b>
60	INSPECCION	4.69	0.0013	768		5933	1
70	EMPAQUE	3.97	0.0011	907		7010	1

OBSERVACIONES: TOTAL 7

PERSONAL DIRECTO = 7  
PERSONAL INDIRECTO = 0

TIEMPO DE OPERACION MAYOR = 0.0017 HRS/PZA = 603 PZAS/HR. 5.97 (SEG)

CUELLO DE BOTELLA : TORQUE

Elaboración propia

La tabla 11 muestra el análisis de tiempo ciclo del proceso de atornillado de tuerca.

Tabla 11. Tiempo ciclo del proceso de atornillado de tuerca modular

<div style="text-align: center;"> <span>Spanish</span> <h3>Registro de Tiempo de Ciclo</h3> <p>V1.0</p> </div>													
Área: LINEA EMBALAJE B1 ATORNILLADO DE TUERCA MODULAR					Emitado por: Israel Iñiguez					Fecha: 07/08/2021		Indicaciones:	
										Página: de: 1 1			
N°	Operación:	Ciclo N°:										Tiempo/operación en segs:	Comentarios:
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Tomar dos amortiguadores de index y colocarlos en maquina modular	4.92	4.03	3.93	5.16	5.20	5.61	5.24	5.00	5.17	5.05	4.93	Tiempo manual
2	Aplicación del proceso de atornillado de tuerca modular	4.45	4.31	4.38	4.23	4.21	4.23	4.20	4.45	4.09	4.09	4.26	Máquina
3	Retirar amortiguadores modulares de maquina y colocarlos en la banda	2.61	2.58	1.99	2.51	2.46	2.38	2.47	3.76	4.08	2.64	2.75	Tiempo manual
4													
5													
Suma		11.98	10.92	10.30	11.90	11.87	12.22	11.91	13.21	13.34	11.78	11.94	Tiempo/ciclo:
P* = Proceso (contenido del trabajo) PM* = Punto de medición (final del proceso)											Seg/pza	11.94	
											Pzas/hr	301	

Elaboración propia

En la tabla 12 se muestra el cálculo de la capacidad productiva de la línea por año y su capacidad disponible con un tiempo ciclo de 6.0 segundos pieza y un OEE al 75%, datos que se obtuvieron al analizar los tiempos del atornillado de tuerca.

Tabla 12. Capacidad, tiempo ciclo de 6 segundos y OEE de 75%

	Total 2021	Total 2022	Total 2023	Total 2024	Total 2025	Total 2026	Total 2027	Total 2028
<b>Capacidad de piezas</b>	2,733,747	2,733,747	2,733,747	2,733,747	2,733,747	2,733,747	2,733,747	2,733,747
<b>Disponibilidad de piezas</b>	1,218,965	750,686	687,660	752,430	858,583	978,883	479,116	460,384

Elaboración propia

Los resultados obtenidos del análisis hecho con la línea de ensamble final actual nos indican que el tiempo ciclo de 5 segundos no es real para producir algunas familias de amortiguadores, específicamente los *STRUT* con plato clavado más capuchón y los amortiguadores traseros que se les aplica el proceso de atornillado de tuerca para su ensamble final.

La complejidad que en ambos ensambles se presenta para cumplir con el tiempo ciclo, se relaciona con la alimentación manual del *STRUT* y amortiguador en cada máquina o proceso más la carga de componentes. Los puntos más complejos o los que generan mayor dificultad para lograr el tiempo ciclo necesario en este tipo de línea, se enlistan a continuación de forma descendente por grado de importancia:

- Tiempo ciclo pieza a pieza por encima de lo requerido.
- Ergonomía en las estaciones de trabajo.
- Manejo incorrecto de material no conforme o defectuoso.
- Trazabilidad de las piezas fabricadas.

Conforme a los resultados obtenidos en la evaluación de los procesos de la línea actual, se inicia con el proyecto para adquirir una línea de ensamble ideal para poder cumplir con las necesidades futuras de la planta. Se toma como base la ingeniería conceptual y básica con la finalidad de definir inicialmente las consideraciones generales del proyecto.

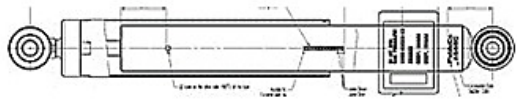
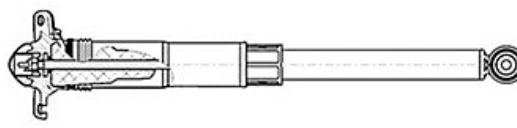
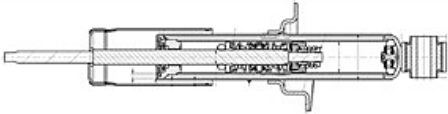

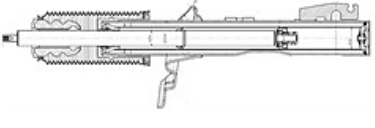
### **3.3. Requerimientos de la línea (Ingeniería conceptual y básica)**

Para contrarrestar la problemática de la línea actual con la imposibilidad de mejorar los tiempos ciclos de los cuellos de botella, se opta por adquirir una nueva línea de ensamble con sistema de transporte automático y porta piezas; Una línea con el concepto modular adaptada a una banda de rodillos con transportadores de dos piezas, diseñados para realizar los procesos de ensamble sobre ellos mismos. Este tipo de líneas tienen la flexibilidad de requerirse inicialmente con la cantidad de procesos necesarios para determinados productos, posteriormente tienen la posibilidad de incluirles nuevos procesos y en el futuro retirar algunos de ellos cuando no sean necesarios.

Para la adquisición de la nueva línea, inicialmente se seleccionan los procesos necesarios conforme a la cantidad y tipos de amortiguadores a producir, considerando también la inversión necesaria. En la tabla 13 se muestra un listado

de los amortiguadores a producir con sus requerimientos de proceso y en la tabla 14 el costo aproximado por cada uno de ellos.

Tabla 13. Lista de amortiguadores a producir y sus procesos

REQUERIMIENTOS DE PRODUCTOS PROCESADOS EN LINEA DE ENSAMBLE FINAL		
TIPO	IMAGEN	REQUERIMIENTOS
AMORTIGUADOR		Ensamble de buje inferior Atomillado de cabezal superior Ensamble de guardapolvo Etiquetado Ensamble de buje superior
AMORTIGUADOR		Ensamble de buje inferior Ensamble de capuchón a presión Ensamble de componentes superiores Atomillado de tuerca modular Etiquetado Inserción de tapa superior
AMORTIGUADOR		Ensamble de buje inferior Ensamble de plato a presión Ensamble de anillo en flecha a presión Etiquetado Ensamble de guardapolvo
STRUT		Ensamble de plato a presión Ensamble de capuchón a presión Etiquetado
STRUT		Ensamble de capuchón a presión Ensamble de componentes superiores Etiquetado

Elaboración propia

Tabla 14. Requerimientos de proceso e inversión

<b>LÍNEA DE ENSAMBLE MODULAR CON TRANSPORTE AUTOMÁTICO DE PIEZAS CON DOBLE ESTACIÓN</b>					
<b>PROCESO</b>	<b>REQUISITOS</b>	<b>DISPOSITIVO</b>	<b>TIPO DE ESTACION</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO EN DOLARES</b>
Clavado de plato	Inserción de plato a presión en el cuerpo del amortiguador con fuerza de 3 a 30 KN	Servo prensa con control de fuerza y distancia	Maquina independiente para operación manual	2 Máquinas	\$300,000.00
Estación de carga de amortiguador	Estación para carga y descarga de piezas a la línea modular	Sistema mecánico para fácil alimentación y retiro de piezas	Estación adicional de transporte con alimentación manual	1 Estación	\$40,000.00
Embujado inferior	Inserción a presión del buje en el amortiguador con fuerza de 1 a 90 KN	Servo prensa con control de fuerza y distancia	Maquina automática doble con sistema de transporte adaptado	1 Máquina	\$380,000.00
Ensamble de capuchón	Inserción a presión del capuchón en el amortiguador con fuerza de 1 a 20 KN	Servo prensa con control de fuerza y distancia	Maquina automática doble con sistema de transporte adaptado	1 Máquina	\$170,000.00
Ensamble de anillo en flecha	Inserción a presión de anillo metálico en la punta de flecha del amortiguador con fuerza de 5 a 15 KN	Servo prensa con control de fuerza y distancia	Maquina automática doble con sistema de transporte adaptado	1 Máquina	\$170,000.00
Estación de carga de componentes	Estación para carga de componentes a la línea con inspección automática	Sistema mecánico para fácil alimentación de componentes y sensor de visión para validar la presencia de los mismos	Estación adicional de transporte con alimentación manual	1 Estación	\$80,000.00
Estación de atomillado	Aplicación de par y ángulo a los amortiguadores con capacidad de 20 a 45 Nm	Atomillador automático con capacidad de controlar par y ángulo	Maquina automática doble con sistema de transporte adaptado	1 Máquina	\$170,000.00
Estación de etiquetado y descarga de piezas malas	Estación para etiquetar piezas automáticamente con sistema de rotación en piezas para correcta posición de etiqueta	Etiquetadora con sistema de colocación automática en posición y rotación correcta, con robot de alimentación y descarga de piezas malas	Maquina con mesa rotativa y alimentación automática, independiente de la línea pero adaptada en la estación final	1 Máquina	\$450,000.00
Embujado superior	Inserción a presión del buje en el amortiguador con fuerza de 1 a 90 KN	Servo prensa con control de fuerza y distancia	Maquina independiente para operación manual	2 Máquinas	\$300,000.00
Control central de la línea	computadora central de la línea y mandos	PC central de control para la línea y sistema de trazabilidad	Sistema inteligente de la línea para su funcionamiento y registro de pasos o procesos	1 Equipo	\$70,000.00
<b>Total</b>					<b>\$2,130,000.00</b>

Elaboración propia

Los costos de la tabla se obtuvieron de cotizaciones de máquinas y estaciones de trabajo similares, las cuales se utilizan para realizar el ensamble del amortiguador. En términos generales, el costo del proyecto para adquisición de la línea modular será aproximadamente de 2,130,000 dólares, contemplando las estaciones

necesarias para fabricar los productos y tipos de amortiguadores existentes, más el volumen adicional de productos que se requieren fabricar en la línea.

### 3.4. Diagrama de flujo del proceso

De acuerdo con los requerimientos del proceso se genera un diagrama de flujo para la fabricación de los productos considerados, tomando en cuenta el acomodo ideal de las máquinas sobre la línea, evaluando cuáles procesos son factibles para integrar en la línea modular y cuáles no, debido a la dificultad técnica de cada producto y su tipo de ensamble. La figura 31 muestra el acomodo ideal de la línea modular seleccionada.

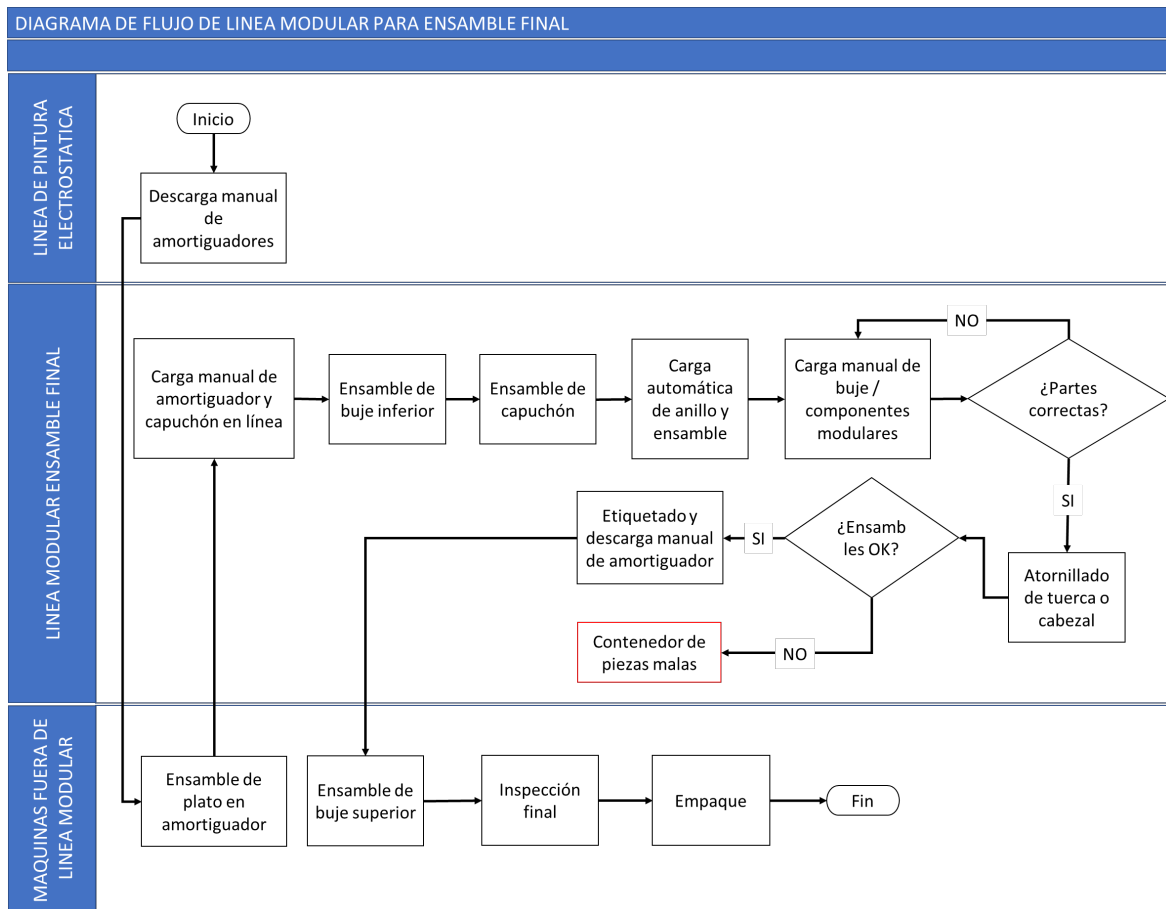


Figura 30. Diagrama de flujo de la línea modular  
Elaboración propia

Al final del análisis de factibilidad, se considera no integrar la estación para el ensamble de plato y el ensamble de buje superior, debido a la complejidad para realizar el ensamble en cada uno de estos procesos.

### 3.5. Descripción técnica de la línea modular (Consideraciones de diseño)

En la tabla 15 se determinan las características principales del concepto de la línea modular y el método de validación para sustentar la funcionalidad por cada uno de los requisitos.

Tabla 15. Requerimientos mínimos para la línea modular

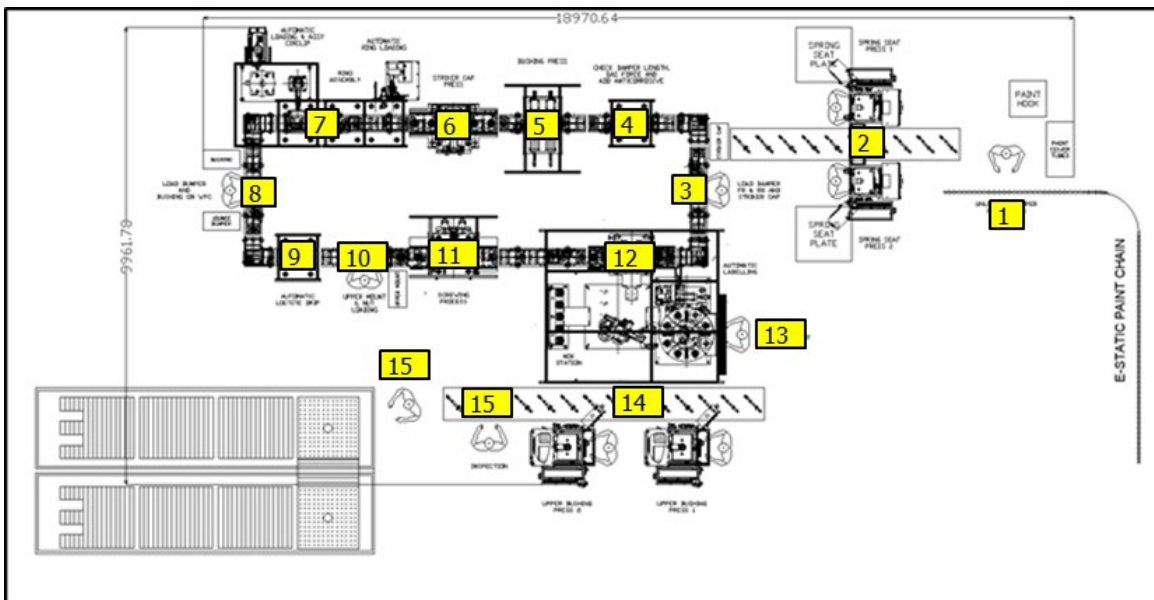
REQUERIMIENTOS ESPECÍFICOS			
	<b>Compañía</b>	ZF Suspension Technology Guadalajara	
	<b>Descripción de la Necesidad:</b>	Diseño y fabricación de línea de ensamble final con diseño modular	
	<b>Líder Técnico:</b>	Israel Iñiguez	
DATOS GENERALES DE LA LÍNEA			
ID	DESCRIPCION	REQUISITOS	METODO DE VALIDACIÓN
1	Tiempo de producción de la línea	3 Turnos al día	Evaluación de OEE
2	Disponibilidad técnica (eficiencia) conforme a la norma VDI-3423	> 98%	Análisis de fallas durante un turno.
3	Tiempo de cambio de código	8 – 12 Minutos con 3 personas	Cronometro
4	Tiempo de ciclo	10 segundos máximo por cada transportador de 2 piezas (5 segundos por pieza producida)	Cronometro
5	Trazabilidad	Sistema de lectura y descarga de datos del proceso electronicamente a PC central	Inspección visual
6	Trazabilidad	Generacion de pantalla de trazabilidad para registro de los datos historicos del proceso	Inspección visual
7	Cmk	1.67	Cálculo de Cmk
8	Aseguramiento de calidad en línea de ensamble	Poka-yokes con sensores: -Detección de piezas a procesar -Correcta orientación de piezas a procesar - No generar daños cosmeticos a piezas en los procesos	Inspección visual.
9	Comunicación de línea	PROFINET	Inspección visual.
10	Energía	440 VAC, Tres Fases, 60 Hz	Instrumento de medición
11	Control	24 VDC	Instrumento de medición
12	Presoin de aire	Máximo 6 bares	Instrumento de medición
13	Diámetros de las flechas	ø18 – ø25 mm	Instrumentos de medición
14	Longitud de cuerpo del amortiguador y STRUT	200 – 550 mm	Instrumentos de medición
15	Longitud total del amortiguador y STRUT	400 – 800 mm	Instrumentos de medición
16	Diámetros de amortiguador y STRUT	ø35 – ø60 mm	Instrumentos de medición
17	Diámetros de las flechas	ø18 – ø25 mm	Instrumentos de medición
18	Longitud de cuerpo del amortiguador y STRUT	200 – 550 mm	Instrumentos de medición
19	Longitud total del amortiguador y STRUT	400 – 800 mm	Instrumentos de medición
20	Longitud total del amortiguador y STRUT	400 – 800 mm	Instrumentos de medición
21	Peso del amortiguador y STRUT	4 – 10 Kg	Instrumentos de medición

Elaboración propia



### 3.6. Concepto de línea modular

El diseño seleccionado de la línea modular para el proyecto será semiautomático (ver fig. 31), tendrá estaciones completamente automáticas por la complejidad de algunos procesos y tendrá estaciones manuales para reducir el tamaño de inversión. Con las excepciones que se encontraron en el diseño conceptual de no integrar la estación de clavado de plato y ensamble de buje superior, se puede tener ahorro en el tamaño de inversión debido a que las máquinas existentes para estos procesos pueden ser utilizadas. El cálculo para la adquisición de la línea será de 1,500,000 dólares aproximadamente.



<p><b>Est 01:</b> Descarga de amortiguador de cadena de pintura</p> <p><b>Est 02:</b> Ensamble de plato semiautomático</p> <p><b>Est 03:</b> Carga de amortiguador y capuchón en línea</p> <p><b>Est 04:</b> Colocación de anticorrosivo en punta de flecha</p> <p><b>Est 05:</b> Ensamble de buje automático</p> <p><b>Est 06:</b> ensamble de capuchón automático</p> <p><b>Est 07:</b> Colocación de anillo en flecha y ensamble</p> <p><b>Est 08:</b> carga de componentes modulares y buje</p>	<p><b>Est 09:</b> Colocación de Loctite en flecha automático</p> <p><b>Est 10:</b> Carga de tuerca o cabezal en punta de flecha</p> <p><b>Est 11:</b> Atornillado de tuerca o cabezal automático</p> <p><b>Est 12:</b> Etiquetado y descarga de piezas NG automático</p> <p><b>Est 13:</b> Descarga de amortiguador de línea modular</p> <p><b>Est 14:</b> Ensamble de buje superior</p> <p><b>Est 15:</b> Inspección final y empaque</p>
---	---

Figura 31. Lay-out de la línea de ensamble modular  
Elaboración propia

### 3.7. Descripción de la línea por estación de trabajo

#### 3.7.1. Línea de transporte completa (línea de rodillos)

La línea de transporte de amortiguadores está diseñada con secciones independientes por cada estación de trabajo o proceso productivo, las cuales se unen mecánica, eléctrica, electrónica y neumáticamente para conformar la línea completa de ensamble. Los *pallets* (porta piezas dobles), tienen mordazas de sujeción con ajuste de altura necesario para colocar los amortiguadores o *STRUT*. Los *pallets* contienen un *chip* codificado para trazar y guardar los datos del progreso de las piezas dentro de la línea. Con este sistema de trazabilidad reprocesos u omisión de procesos se pueden evitar; También pueden separarse de forma efectiva los amortiguadores y *STRUT* mal fabricados, y la identificación de la falla puede conocerse en tiempo real mediante el sistema de trazabilidad. A continuación, se enlistan las características técnicas generales de la línea de rodillos en aluminio mostrada en la figura 32.

- Velocidad del sistema de transporte 10 metros/minuto
- Velocidad de transporte en esquinas 14 metros/minuto
- Medidas de banda por cada sección 1.8 mts longitud, 0.5 mts ancho
- Altura de banda desde el piso 600 mm

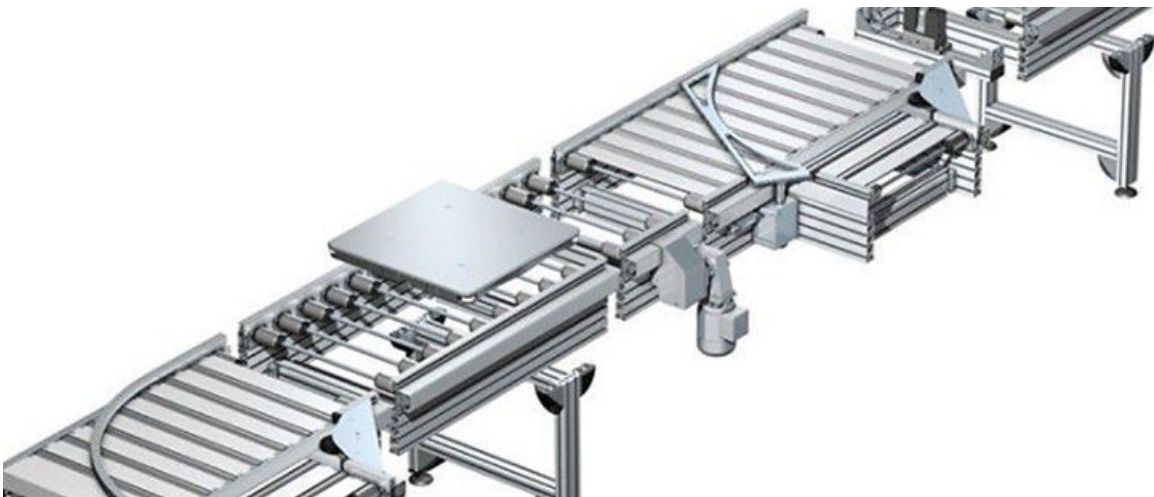
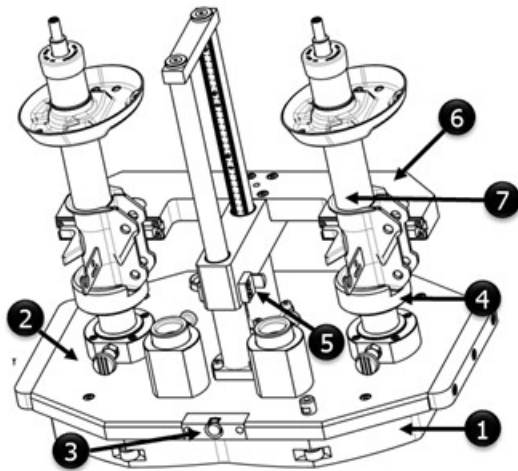


Figura 32. Sistema de transporte por medio de rodillos motorizados (Transfersystem TS 5, s. f.)

A continuación, se enlistan las características técnicas generales de los *pallets* para transportar las piezas (ver fig. 33).

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| • Cantidad de porta piezas dobles             | 25 <i>pallets</i>               |
| • Distancia entre amortiguadores              | 350 mm entre piezas             |
| • Medidas de <i>pallet</i>                    | 630 x 395 mm ancho, 565 mm alto |
| • Ajuste de altura en mordazas                | 280 mm                          |
| • Material de base inferior del <i>pallet</i> | Plástico                        |
| • Material del sistema porta piezas           | Acero y aluminio                |



### Pallet

1. Base plástica.
2. Base de acero.
3. Chip codificado.
4. Herramental inferior intercambiable.
5. Sistema de ajuste manual de altura.
6. Mordazas de pallet.
7. STRUT.

Figura 33. Porta piezas (*pallet*) para dos amortiguadores o STRUT  
Elaboración propia

### 3.7.2. Estación de carga de amortiguadores & STRUT

#### Componentes principales:

- 1 sección de banda con sistema de elevación de *pallet*.
- 1 sensor para transcripción y lectura en los códigos de los *pallets*.

#### Secuencia de proceso

El transportador de piezas vacío llega a la estación y el lector de códigos verifica la información del *pallet*, posteriormente el sistema de elevación de *pallet* se activa y las mordazas mecánicas se abren para colocar los amortiguadores.

### 3.7.3. Ensamble de buje inferior

#### Componentes principales:

- 1 estructura de 4 columnas horizontales con placas laterales.
- 1 sección de banda con sistema de elevación de *pallet*.
- 1 sensor para transcripción y lectura en los códigos de los *pallets*.
- 2 sistema de centrado y sujeción de amortiguadores.
- 2 servo prensas con verificación de fuerza y distancia. Máximo 100 kN.
- 2 cilindro alineador de bujes de hule. Máximo 20 kN.
- 1 sufridera para soporte del ensamble de bujes.

#### Secuencia de proceso

El transportador de piezas llega a la estación y el lector de códigos verifica la información del *pallet*, el sistema de elevación de *pallet* se activa. Se sujetan los amortiguadores y se posiciona la sufridera para posteriormente realizar la inserción del buje a presión dentro del ojal inferior del amortiguador, se monitorea la fuerza y la distancia. Para los bujes de hule, después del proceso de inserción se activa el cilindro alineador para centrar el buje en el ojal. Después del proceso la máquina regresa a posición inicial y se escriben los datos del proceso en el *chip* del *pallet*.

### 3.7.4. Ensamble de capuchón

#### Componentes principales:

- 1 estructura de 4 columnas con placa inferior y superior.
- 1 sección de banda con sistema de elevación de *pallet*.
- 1 sensor para transcripción y lectura en los códigos de los *pallets*.
- 2 sistema de centrado de amortiguadores.
- 2 sistema de prensado con verificación de fuerza y distancia. Máximo 20 kN.

#### Secuencia de proceso

El transportador de piezas llega a la estación y el lector de códigos verifica la información del *pallet*, el sistema de elevación de *pallet* se activa. Se sujetan los amortiguadores y se aplica presión para la inserción del capuchón sobre los amortiguadores, se monitorea la fuerza y la distancia. Después del proceso la

máquina regresa a posición inicial y se escriben los datos del proceso en el chip del *pallet*.

### **3.7.5. Ensamble de anillo en flecha**

#### Componentes principales:

- 1 estructura de 4 columnas con placa inferior y superior.
- 1 sección de banda con sistema de elevación de *pallet*.
- 1 sensor para transcripción y lectura en los códigos de los *pallets*.
- 1 sistemas de alimentación automática de anillos.
- 1 servomotor de posición.
- 2 sistema de centrado de amortiguadores.
- 2 servo prensa con verificación de fuerza y distancia. Máximo 15 kN.
- 2 sistemas para jalar la flecha y bloquear en anillo.

#### Secuencia de proceso

El transportador de piezas llega a la estación y el lector de códigos verifica la información del *pallet*, el sistema de elevación de *pallet* se activa. El anillo se coloca automáticamente en las flechas del amortiguador y el servo motor acerca el sistema para sujetar la flecha, la servo prensa jala la flecha para insertar a presión el anillo sobre el hombro de esta, monitoreando la fuerza y la distancia del ensamble. Al finalizar el proceso la máquina regresa a posición inicial y se escriben los datos del proceso en el *chip* del *pallet*.

### **3.7.6. Estación de carga de buje y componentes modulares**

#### Componentes principales:

- 1 sección de banda con sistema de elevación de *pallet*
- 1 sensor para transcripción y lectura en los códigos de los *pallets*
- 2 sistemas de visión para verificación de componentes

#### Secuencia de proceso

El transportador de piezas vacío llega a la estación y el lector de códigos verifica la información del *pallet*, posteriormente el sistema de elevación de *pallet* se

activa. El operador coloca los bujes en el herramental inferior del *pallet* y/o coloca los componentes modulares. Sistema de visión verifica cantidad y componentes correctos. Al finalizar el proceso la estación regresa a posición inicial y se escriben los datos del proceso en el *chip* del *pallet*.

### **3.7.7. Estación de atornillado**

#### Componentes principales:

- 1 estructura de 4 columnas con placa inferior y superior.
- 1 sección de banda con sistema de elevación de *pallet*.
- 1 sensor para transcripción y lectura en los códigos de los *pallets*.
- 2 sistema de centrado de amortiguadores.
- 1 servomotor de posición.
- 2 atornilladores automáticos. Máximo 70 Nm de par.

#### Secuencia de proceso

El transportador de piezas llega a la estación y el lector de códigos verifica la información del *pallet*, el sistema de elevación de *pallet* se activa, las mordazas de sujeción sujetan y centran en la estación a los amortiguadores para iniciar el proceso de atornillado en tuerca o cabezal. Después del proceso la máquina regresa a posición inicial y se escriben los datos del proceso en el *chip* del *pallet*.

### **3.7.8. Etiquetado y estación de piezas malas**

#### Componentes principales:

- 1 sección de banda con sistema de elevación de *pallet*.
- 1 lector para los códigos de los *pallets*.
- 1 robot para manipulación de amortiguadores y *STRUT*.
- 1 mesa rotativa conjunta a la línea con 4 estaciones de proceso.
- 2 sistema rotativo para girar los amortiguadores en posición correcta.
- 1 impresora de etiquetas.
- 1 sistema de colocación de etiquetas automático.

### Secuencia de proceso

El transportador de piezas llega a la estación y el lector de códigos verifica la información del *pallet*, el sistema de elevación de *pallet* se activa. El robot retira las piezas del *pallet* y las coloca en la 1er estación de la mesa giratoria. Las piezas pasan a la 2da estación para posteriormente ser colocada la etiqueta en el amortiguador. Las piezas pasan a la 3er estación, el operador descarga las piezas de la línea y las coloca en la siguiente estación. La 4ta estación de la mesa giratoria es libre. Si alguna pieza fue mal ensamblada en los procesos anteriores al etiquetado, el robot las coloca en la estación de piezas malas con capacidad de 5 piezas. Al finalizar el proceso la máquina regresa a posición inicial y se escriben los datos del proceso en el *chip* del *pallet*.

### **3.7.9. Excepciones de la línea modular**

Los procesos de ensamble de capuchón y plato e inserción de buje superior no se consideran para ser integrados a la línea modular, por no ser factibles técnicamente, estos procesos de ensamble tienen alta complejidad para ser adaptados al sistema de línea sobre rodillos. El ensamble de capuchón y plato se separan en dos estaciones, una para ensamblar el capuchón, la cual se considerará dentro de la línea modular y otra para ensamblar el plato la cual no se considera dentro de la línea modular; Se toman estas consideraciones para lograr el tiempo ciclo de 10 segundos para procesar dos piezas, que promedia 5 segundos por pieza producida.

### **3.8. Concepto de modularidad para la línea de ensamble final**

El concepto que hace modular a este proyecto de línea está basado en la unión de secciones de bandas de rodillos con dimensiones estandarizadas de 1.8 metros de longitud por 0.5 metros de ancho, con la finalidad de adaptar de forma sencilla nuevas máquinas que sean necesarias para fabricar nuevos productos. Al centro de cada sección de banda, se integran las estaciones de trabajo para procesar los amortiguadores (ver fig. 34).



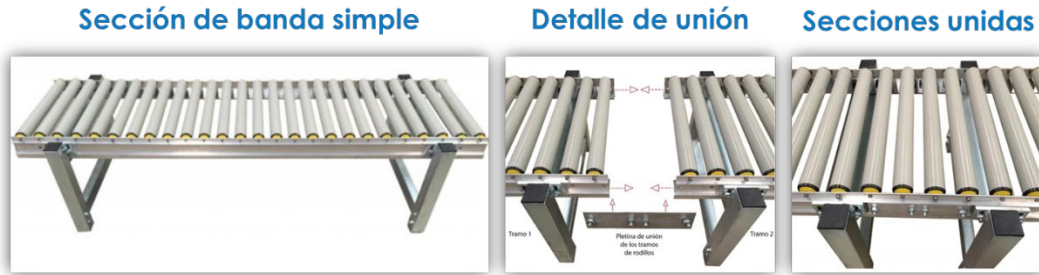


Figura 34. Detalle de la unión de las secciones de rodillos  
(Transportador de rodillos modular, s. f.)

Aunado a la unión mecánica, también se consideran las conexiones eléctricas y electrónicas con el sistema modular, integrando cada sección con conectores rápidos eléctricos y electrónicos para el suministro de energía manteniendo la conexión de datos, unificando todas las estaciones con un panel principal el cual conforma toda la línea en un conjunto (ver fig. 35 y 36).

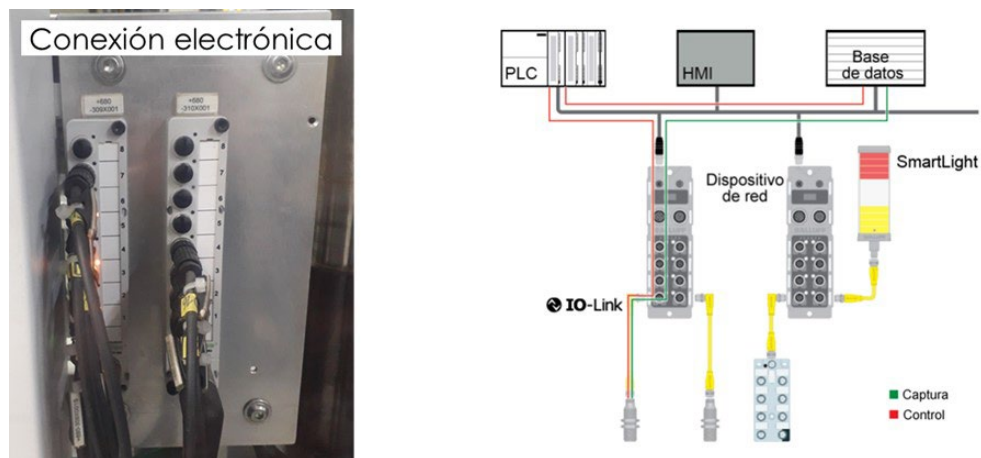


Figura 35. Detalle de conexión electrónica  
Elaboración propia

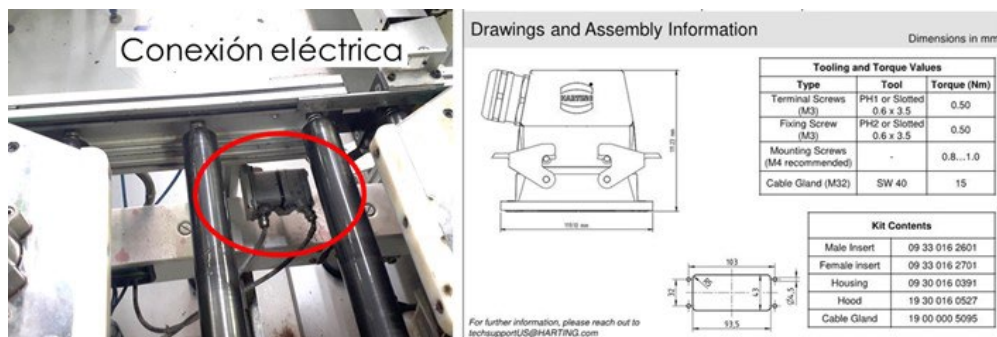


Figura 36. Detalle de conexión eléctrica  
Elaboración propia



Otro punto importante de suministro con conexión modular es el aire comprimido, utilizado para la funcionalidad de los dispositivos neumáticos (ver fig. 37), los cuales se consideran entre un 50% y 90% en el diseño y la fabricación de cada estación de trabajo, entre los que se utilizan:

- Actuadores lineales para movimientos longitudinales.
- Cilindros neumáticos para movimientos de longitud y procesos de prensado.
- Pinzas para sujeción de piezas.
- Módulos de válvulas y unidades de mantenimiento.

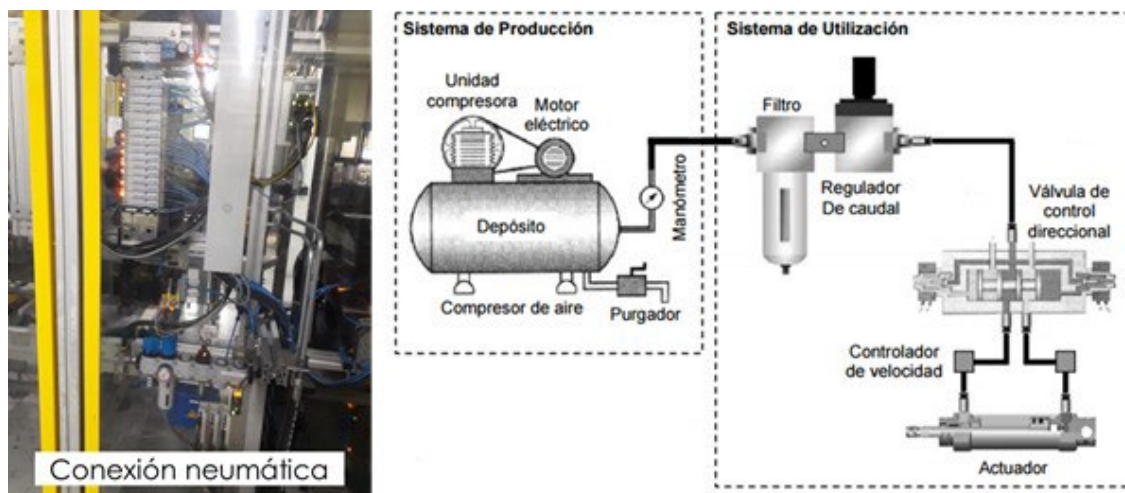


Figura 37. Detalle de conexión neumática  
Elaboración propia

Cada estación de trabajo modular es habilitada con un gabinete eléctrico y con un sistema de PLC los cuales se van adaptando conforme se instalan nuevas estaciones. El PLC instalado en cada gabinete eléctrico de cada estación de trabajo, gobierna los movimientos y funcionalidad de cada dispositivo dentro de cada máquina, no obstante, todas las estaciones de trabajo son conectadas a un PLC central que recibe los datos de cada estación y el cual controla la funcionalidad de la línea en su totalidad. También la línea cuenta con una computadora central para grabar y resguardar los datos de trazabilidad de cada pieza producida por cada día y turno de trabajo (ver fig. 38).



Gabinetes eléctricos      Conexiones a PLC central      PLC

Figura 38. Conexión de gabinetes eléctricos y PLC  
Elaboración propia

La figura 39 muestra una sección lateral de la línea modular, donde se ejemplifica la integración de una nueva estación de trabajo en la línea. Para retirar una estación obsoleta, el proceso de separación sería de forma opuesta a la integración.

- Paso 1: Separación de las secciones de banda para generar espacio nuevo.
- Paso 2: Colocación de nueva estación de trabajo en la línea modular.
- Paso 3: Integración mecánica, eléctrica y neumática de nueva estación.

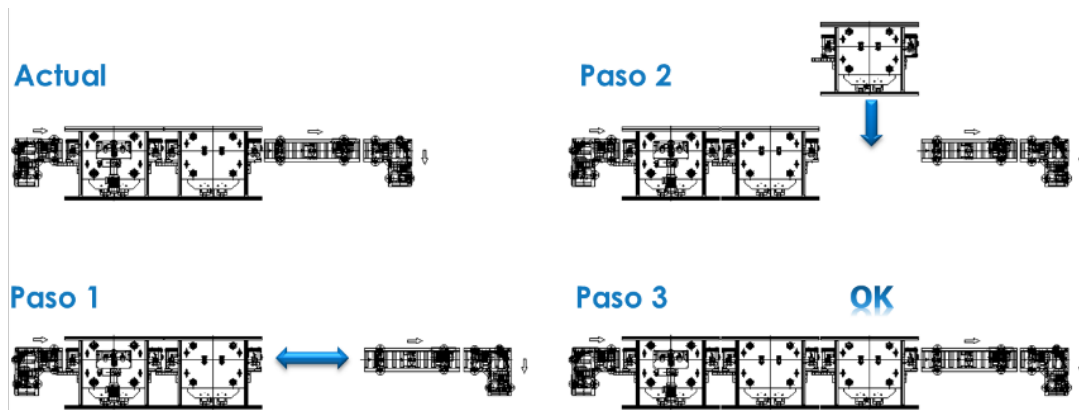


Figura 39. Integración de una nueva estación de trabajo en la línea modular.  
Elaboración propia

### 3.8.1. Diseño de máquinas sobre sección de banda modular

Las máquinas para realizar los procesos de ensamble en la línea modular son integradas al centro de cada sección de banda y están diseñadas con una estructura principal de cuatro columnas y dos placas base; Las cuatro columnas

son el soporte principal de la máquina, la placa inferior se utiliza para soportar la prensa sobre el piso y la placa superior se utiliza para cerrar la estructura y colocar los servomotores, servo-prensas, cilindros hidráulicos o neumáticos dependiendo el proceso a ser desarrollado. En la parte inferior de la máquina se colocan mordazas de sujeción con ajuste de altura para asegurar la alineación de los amortiguadores, también se colocan placas deslizantes junto a la placa superior, donde se montan las herramientas para el proceso específico de la máquina, ya sea un proceso de prensado, remachado o atornillado. En la figura 40 y 41 se exponen la prensa para el ensamble de capuchón y sus partes principales.

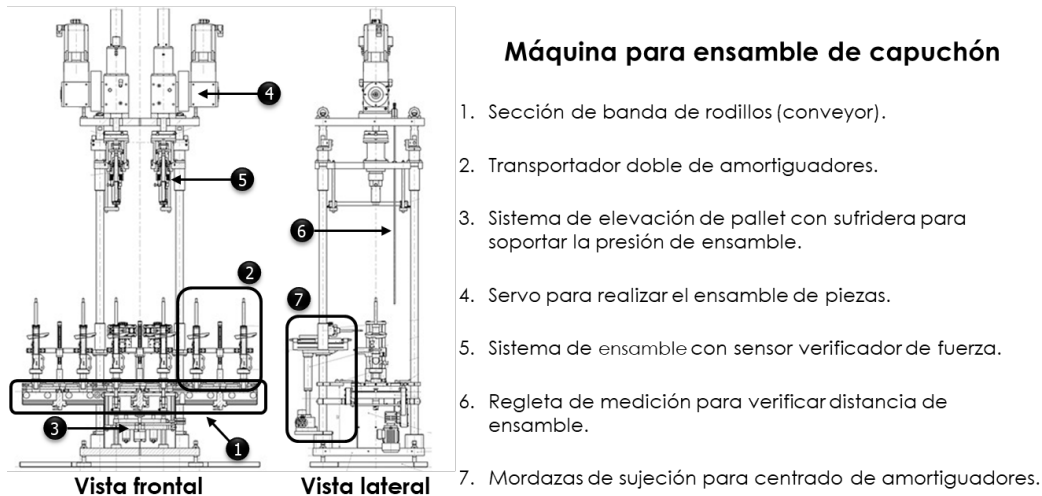


Figura 40. Máquina para el ensamble de capuchón en línea modular.  
Elaboración propia



Figura 41. Máquina para el ensamble de capuchón.  
Elaboración propia

La tabla 16 expone medidas generales de la prensa para ensamble de capuchón.

Tabla 16. Características geométricas máquina ensamble de capuchón.

No.	Características de máquina	Medida
1	Altura de banda del piso a la base de rodillos	605 mm
2	Largo y ancho de sección de banda	1896 x 500 mm
3	Altura total de máquina del piso a placa superior	2800 mm
4	Distancia entre columnas de máquina	640 ancho x 735 fondo
5	Ancho de máquina	960 ancho x 895 fondo
6	Longitud de placa de prensado a banda de rodillos	1795 mm
7	Carrera de servo prensa para proceso de ensamble	1190 mm

Elaboración propia

### 3.8.2. AMEF de proceso para máquina de ensamble de capuchón

Para reforzar el diseño de cada estación considerada dentro de la línea de ensamble final del tipo modular, se creó un AMEF con la finalidad de identificar los posibles problemas de calidad que puedan ocurrir en los amortiguadores y *STRUT*, al momento de ser manufacturados en cada estación de trabajo. Este documento se elaboró con el AMEF de la línea de ensamble actual, y fue enriquecido con los problemas de calidad que se han presentado a lo largo del tiempo sobre la misma línea. Con la información existente, se consideraron controles adecuados para evitar las causas potenciales que generan piezas defectuosas. Para la estación de ensamble de capuchón se encontraron 4 modos de falla principalmente:

- 1) Colocación de capuchones incorrectos.
- 2) Ensamble del capuchón en el amortiguador o *STRUT* de forma incorrecta.
- 3) No colocar capuchón o colocar doble capuchón en amortiguador o *STRUT*.
- 4) Colocación del capuchón de manera invertida o boca arriba.

La tabla 17 expone el extracto del AMEF con referencia a la estación de ensamble de capuchón.

Tabla 17. AMEF de proceso máquina ensamble de capuchón.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA											
No.	Pasos del proceso	Modo de falla	Efecto de falla	SEV	Causas	Acciones preventivas	OCU	Acciones de detección	DET	NPR	
<b>Ensamble de capuchón en amortiguador</b>											
1	Capuchón correcto	Capuchón incorrecto	Cargas de amortiguación incorrectas	8	Suministro de capuchón incorrecto	Instrucción de trabajo	1	Inspección visual	5	40	
			Seguridad de manejo reducida			Lista de materiales		Verificar primera pieza al inicio de turno de acuerdo con instrucción de calidad			
2	Asentamiento correcto de capuchón	Incorrecta posición o daño	Cargas de amortiguación incorrectas	8	Instalación de herramental incorrecto	Instrucción de trabajo	2	Verificar primera pieza al inicio de turno de acuerdo con calidad	5	80	
			Seguridad de manejo reducida	8		Entrenamiento del operador		2	100% verificación de desplazamiento y fuerza	3	48
			Reducción de confort en el manejo	6	Herramental dañado o gastado	Verificar calidad de herramientas	2	100% verificación de desplazamiento y fuerza	3	36	
			Reducción de confort en el manejo	8	Capuchón incorrecto	Entrenamiento del operador	2	100% verificación de desplazamiento y fuerza	3	48	
			Seguridad de manejo reducida			Lista de materiales		100% Inspección de sensor de visión			
			Vehículo no asegura la durabilidad adecuada	8	Capuchón no ensamblado	Instrucción de trabajo	2	100% verificación de desplazamiento y fuerza	3	48	
			Entrenamiento del operador	100% Inspección de sensor de visión							
3	Cantidad correcta de capuchón	Falta de capuchón	No se puede montar amortiguador	8	Sin colocar el capuchón o con doble capuchón	Instrucción de trabajo	2	100% Inspección de sensor de visión	3	48	
			Amortiguador genera ruido	6		Entrenamiento del operador			2	3	36
			Reducción de confort en el manejo	8		Lista de materiales			2	3	48
4	Correcta orientación de capuchón	Incorrecta orientación de capuchón	Amortiguador genera ruido	8	Capuchón colocado con apertura hacia arriba	Poka-Yoke en herramental	2	No se puede ensamblar	2	32	
			Vehículo no asegura la durabilidad adecuada								

Elaboración propia

### 3.8.3. Ajustes y tolerancias mecánicas para fabricación de máquinas

Para el diseño de la maquinaria, principalmente para la estructura mecánica de la máquina y en cuestión secundaria para la adaptación de la máquina a la banda de rodillos, que es un producto de línea, se deben tomar en cuenta los ajustes y tolerancias para su funcionalidad correcta y también para que la alineación de las piezas a procesar en las estaciones de trabajo sea adecuada, cuidándolas de daños por una alineación incorrecta, por tal motivo, es necesario aplicar los criterios de ajustes y tolerancias. Para el diseño e integración mecánica de las máquinas sobre cada sección de banda, se consideran los ajustes de la tabla 18.

Tabla 18. Características de ajuste para ensambles de máquina.

No.	Ensamble tipo	Característica de ensamble
1	Ensamble de columnas con las placas superior e inferior	Ajuste forzado
2	Ensamble de servo en placa superior	Ajuste forzado
3	Ensamble de bujes guía con placas intermedias para prensado	Ajuste forzado
4	Ensamble de bujes guía con placas para sistema de mordazas	Ajuste forzado
5	Ensamble de bujes guía en las columnas	Ajuste deslizante
6	Ensamble de prensa con banda de rodillos	Ajuste de fijación
7	Interacción de transportador de piezas con banda de rodillos	Ajuste con holgura

Elaboración propia

Los ensambles con el tipo de ajuste antes mencionados, deben de aplicarse para evitar daños prematuros en los dispositivos de la maquinaria, generados por fricción, rozamiento, deformación y vibración. Cabe señalar que, para que los ensambles en la integración mecánica de las máquinas sean duraderos, deben seleccionarse los materiales y recubrimientos adecuados para determinada función, y esto debe ser seleccionado por el fabricante de la maquinaria.



### 3.9. Análisis de capacidad con simulación

Para conocer la capacidad productiva de la línea modular, se opta por ejecutar un análisis por medio de simulación con el software FlexSim. En este ejercicio se plasma el *lay-out* de la línea modular seleccionado, sobre la superficie del software y se montan sobre el mismo, modelos de máquinas genéricos, bandas de rodillos y áreas de almacenaje, tratando de replicar el área lo más cercano a lo real (ver fig. 42). Este modelo de simulación se diseña con el flujo definido para fabricar los amortiguadores actuales más los que se quieren incluir por motivo de la cancelación de la línea de pintura electrostática; Cabe señalar que en el ejercicio de simulación no se introducen parámetros de tiempos de cambio de código, tiempos de comedor, descansos, cambios de turno, etc., tampoco se incluye el porcentaje de piezas defectuosas, disponibilidad de línea, ni eficiencia de máquinas y se considera un OEE al 100% de efectividad. El tiempo ciclo parametrizado por estación de trabajo es de 5 segundos pieza, que simula por mitad el tiempo de proceso por cada transportador doble, que es de 10 segundos.

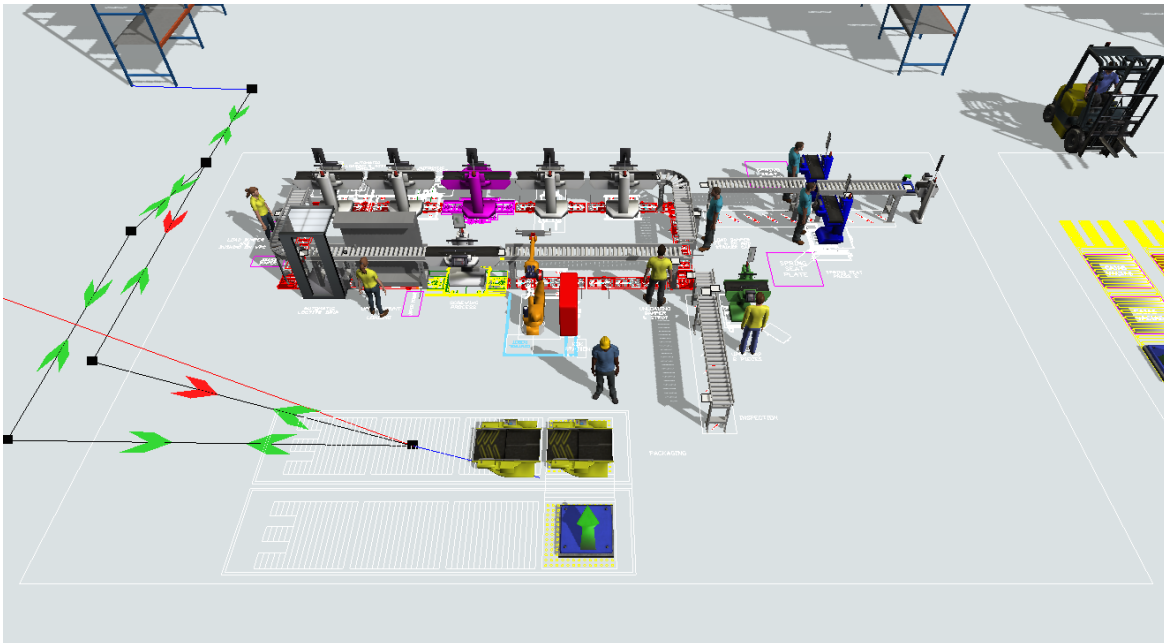


Figura 42. Línea de ensamble final recreada en FlexSim  
Elaboración propia

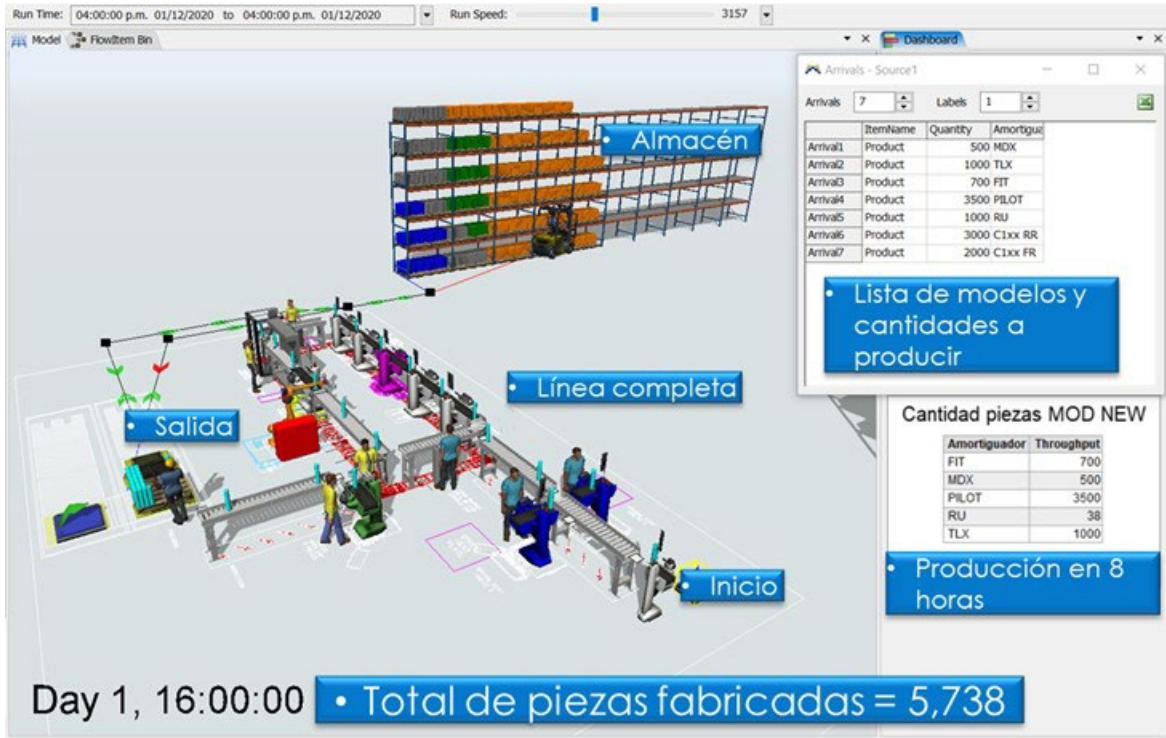


Figura 43. Ejercicio de línea modular en FlexSim  
Elaboración propia

El ejercicio de simulación mostrado en la figura 43 se realizó con ocho horas de trabajo para verificar la capacidad productiva de la línea, el tiempo de procesamiento inicia desde las 8:00 am y termina a las 16:00 horas sin interrupciones. La cantidad de piezas producidas resultantes de este ejercicio fue de 5,738 piezas, lo que da 717.25 piezas por cada hora de producción. Al resultado obtenido de 717.25 piezas por hora se le multiplica un OEE del 70%, proveniente de todas las concesiones estándar analizadas de las líneas actuales, y se le multiplica la cantidad de horas disponibles al año para verificar la capacidad con una mejor aproximación a lo real que tendrá la línea, de acuerdo con la ecuación 5:

$$Capacidad = \left( \frac{717.25 \text{ piezas}}{\text{hora}} \right) (70\% \text{ OEE}) \left( \frac{6075 \text{ horas}}{\text{año}} \right) = 3,050,105 \text{ piezas/año} \quad Ec(5)$$

El diseño modular ofrece mejoras respecto a una línea de producción tradicional, de tal manera que para realizar el cálculo de capacidad se debe cambiar el



porcentaje del OEE al 80% para obtener una capacidad productiva más certera, utilizando la ecuación 5 se obtiene un resultado en piezas por año de:

$$Capacidad = \left( \frac{717.25 \text{ piezas}}{\text{hora}} \right) (80\% \text{ OEE}) \left( \frac{6075 \text{ horas}}{\text{año}} \right) = 3,485,835 \text{ piezas/año} \quad Ec(5)$$

El resultado arroja un volumen mayor de piezas producidas comparado con el cálculo anterior, donde se toma en cuenta un valor de OEE menor. El objetivo principal de este diseño de línea es obtener una mayor cantidad de piezas al año producidas con una menor utilización de recursos.

### **3.10. Ventajas de la línea modular con banda de transporte**

La línea de ensamble final modular con sistema de transporte y maquinaria adaptada, cuenta con ventajas sustanciales sobre las líneas convencionales, ya que no hay manipulación de los amortiguadores por parte de los operadores, lo que reduce los tiempos de proceso por cada estación, esto representa operaciones sistemáticas para hacer más eficiente la línea. La cuestión de calidad también es más efectiva por el sistema de trazabilidad adaptado en toda la línea de producción, si se presenta una falla en cualquier estación, las piezas defectuosas se separan de forma automática y la pantalla de operación muestra la falla precisa del defecto. Las ventajas de la línea modular con banda de transporte se enlistan a continuación:

- Reconfigurabilidad de la línea para adaptar o retirar estaciones.
- Tiempo ciclo de 10 segundos por transportador doble (5 segundos pieza).
- Trazabilidad de las piezas fabricadas.
- Mayor eficiencia de proceso por estación por la independencia de la manipulación del operador.
- Reducción del porcentaje de piezas defectuosas.
- OEE del 80%

Tomando el OEE del 80%, se tiene una capacidad con la ecuación 5 de 3,485,835 piezas/año, lo cual se cumple la necesidad de cubrir la capacidad de piezas por fabricar que es de 3,280,000 piezas/año.

El resultado de productividad obtenido con simulación demuestra que la línea de ensamble con diseño modular ofrece ventajas competitivas debido a su flexibilidad, simplicidad en los procesos de fabricación y la eliminación de la fatiga en los operadores. En la tabla 19 se demuestran los resultados obtenidos del ejercicio de simulación con los diferentes criterios de evaluación, definiendo el dato más acertado de capacidad para la línea modular con un OEE del 80%.

Tabla 19. Resultados de simulación calculados con diferencias de OEE

<b>Criterio de evaluación</b>	<b>% de OEE</b>	<b>Piezas por hora</b>	<b>Piezas por año</b>
Capacidad sin interrupciones	100%	717.25	4,357,293
<b>Capacidad de línea modular</b>	<b>80%</b>	<b>573.80</b>	<b>3,485,835</b>
Capacidad con OEE de línea tradicional	70%	502.07	3,050,105

Elaboración propia

## CONCLUSIONES

En este trabajo se generó un concepto de diseño de línea bajo el sistema modular para la fabricación de amortiguadores en el área de ensamble final, el cual tiene la capacidad de producir los diferentes tipos de amortiguadores existentes y futuros, esta característica hace que la línea tenga flexibilidad debido al diseño de las máquinas que la conforman. Principalmente en este diseño de línea modular se puede incrementar la cantidad de procesos o estaciones de trabajo, considerando un mayor volumen de producción a un tiempo ciclo de 10 segundos por 2 piezas.

El punto de mayor relevancia del concepto modular es su escalabilidad, lo cual permite reconfigurar la línea integrando nuevas estaciones de trabajo de manera sencilla para la fabricación de nuevos productos, esta ventaja tecnológica ayuda a evitar inversiones nuevas para la adquisición de líneas completas que afectan a las ganancias de las compañías.

El diferenciador que ofrecen las líneas modulares lo constituye la integración de las máquinas con un sistema de transporte automático por secciones, el cual ofrece ventajas productivas contra las líneas convencionales "hombre máquina", debido a la reducción del tiempo ciclo, ya que la alimentación de los amortiguadores dentro de las máquinas se realiza de forma automática sin depender de la manipulación del operador, la alimentación de amortiguadores es sistemática y sin ninguna interrupción.

Lo más complicado para desarrollar este trabajo, fue la integración de todos los procesos existentes en la línea modular. Desafortunadamente, no se incluyeron todos, por la complejidad en algunos diseños de amortiguador y *STRUT*, específicamente en el proceso de ensamble de plato, debido a la posición que el plato requiere mantener en algunos amortiguadores, y en el ensamble de buje con el ojal superior, porque tendría que girarse el amortiguador para lograr efectuar dicho ensamble.

El objetivo planteado de obtener un tiempo ciclo de 10 segundos por 2 piezas con un OEE del 80% es factible, y esto se logra por la separación del proceso de clavado de plato y capuchón en dos estaciones distintas, además de contar con el sistema de alimentación automática, que también elimina el segundo cuello de botella cronometrado por encima de los 5 segundos pieza en la estación de atornillado de tuerca modular. Con la ayuda del software de simulación FlexSim, se puede comprobar la capacidad productiva que la línea puede lograr, considerando todas las concesiones que se determinan para el OEE, como las pérdidas de tiempo por los cambios de producto, cambios de turno, micro paros por abastecimiento de material, piezas rechazadas por fallas de ensamble, micro paros por fallas de máquinas, etc.

## RECOMENDACIONES

El concepto de línea modular para el ensamble final de amortiguadores y STRUT desarrollado en este trabajo, servirá como un modelo estándar para la adquisición de nuevas líneas por ZF a nivel global, con la finalidad de obtener las ventajas competitivas demostradas en este documento. Cada planta determinará el tamaño de línea con la cantidad de procesos necesarios con la que debe iniciar, dependiendo el proyecto que active la inversión, además de seleccionar el nivel de automatización que más convenga en cada país o región, como resultado del cálculo financiero que considera el costo de la mano de obra, que en otros países fuera de México es más costosa, como por ejemplo en Alemania y Corea.

En relación con los puntos establecidos en este trabajo de estudio y sus resultados, se enlistan algunos puntos por mejorar:

1. Rediseñar las estaciones de trabajo para lograr integrar cualquier proceso productivo que requieran los amortiguadores y *STRUT* para su fabricación.
2. Estandarizar el diseño de los amortiguadores y *STRUT* considerando que serán fabricados en la línea de ensamble modular.
3. Crear un programa modular en el PLC principal de la línea para la integración de nuevas estaciones de trabajo de forma automática.
4. Integrar criterios de la industria 4.0 en la línea de ensamble modular con la finalidad de obtener datos en tiempo real tales como, eficiencia productiva, tiempo ciclo, paros de línea, fallas de maquinaria, cuellos de botella, etc.

## **APORTACIÓN DE LA TESINA**

El desarrollo de este trabajo contribuye con una alternativa de mejora para optimizar las líneas de ensamble construidas sobre bandas de transporte, indistintamente del tamaño de banda que se utilice, además de ofrecer un diseño innovador y simple para construir las líneas de cualquier producto que se desee manufacturar. Su ventaja competitiva se enfoca en la adaptación de nuevos procesos de manera progresiva, dependiendo de las necesidades de cada compañía y los productos que requieren procesar inicial y posteriormente. Uno de los objetivos que ofrece este concepto, es seguir utilizando las líneas por más tiempo y evitar inversiones para la compra de nuevas líneas de ensamble debido a su obsolescencia, relacionado con la innovación de los productos.

## **APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESINA**

La aportación social que ofrece este trabajo de investigación está relacionada con los avances tecnológicos aplicados en la industria manufacturera, los cuales ha traído aportes a la humanidad. Los avances tecnológicos son de gran importancia para la sociedad, ya que facilitan su supervivencia, comodidad y tranquilidad. Este concepto de línea emplea a personas creativas y técnicamente competentes además de incentivarlas para seguir desarrollando sus conocimientos, otro aspecto importante es, que estas líneas son más seguras para los operarios y evitan el riesgo de accidentes, además de reducir el uso de energía eléctrica al producir mayor cantidad de piezas en menor tiempo.

## REFERENCIAS

- Akyazi, T., Goti, A., Oyarbide-Zubillaga, A., Alberdi, E., Carballedo, R., Ibeas, R., & Garcia-Bringas, P. (2020). Skills Requirements for the European Machine Tool Sector Emerging from Its Digitalization. *Metals*, 10(12), 1665.
- AliExpress. (s. f.). aliexpress.com. Recuperado 27 de enero de 2022, de [//es.aliexpress.com/item/32787605118.html?src=ibdm\\_d03p0558e02r02&sk=&aff\\_platform=&aff\\_trace\\_key=&af=&cv=&cn=&dp=](https://es.aliexpress.com/item/32787605118.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=)
- Budynas, R. G. (2012). *Diseno en ingenieria mecanica de Shigley*. 1068.
- Coll, X. (2018). *La definición de ingeniería conceptual e ingeniería básica (Parte 1)*. Interempresas.  
[https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/230401-La-definicion-de-ingenieria-conceptual-e-ingenieria-basica-\(Parte-1\).html](https://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/230401-La-definicion-de-ingenieria-conceptual-e-ingenieria-basica-(Parte-1).html)
- DirectIndustry. (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2022, de <https://www.directindustry.es/prod/system-robot-automazione/product-50459-2022525.html>
- Factory of the Future Assembly. (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2022, de <https://www.assemblymag.com/infocenter/factory-of-the-future>
- Fegemu Solutions. (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2022, de <https://www.fegaut.com/es/aplicaciones/atornillado-con-cobot/apl-289/>
- Groover, M. P. (1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Pearson Educación.
- Heizer, J., & Render, B. (2004). *Principios de administración de operaciones*. Pearson Educación.
- Ibáñez, E. B. (2000). *Ingeniería concurrente: Guía para su implantación en la empresa diagnóstico y evaluación*. Grupo Planeta (GBS).
- Induma. (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2022, de <https://induma.com.mx/>
- Kilibarda, V., Reid, D., & Red, D. (2014). *Modular manufacturing facility and method* (United States Patent N.º US8789269B2).  
<https://patents.google.com/patent/US8789269/en?q=modular+assembly+line>
- Lee, G. H. (1997). Reconfigurability consideration design of components and manufacturing systems. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 13, 376-386.



- Leisner, E., & Ost, S. (1999). *Modular assembly line system* (United States Patent N.º US5884746A).  
<https://patents.google.com/patent/US5884746/en?q=modular+assembly+line>
- Masood, S. (2006). Line balancing and simulation of an automated production transfer line. *Assembly Automation*, 26(1), 69-74.
- McGuire, P. M. (2009). *Conveyors: Application, Selection, and Integration*. CRC Press.
- Miranda, J. J. (2004). *El desafío de la gerencia de proyectos*. MMEditores.
- Novau, A., & Suárez, A. (2020). *Estrategia y operaciones esbeltas: Camino directo a la sobrevivencia y desarrollo de nuestras empresas*. Editorial Digital del Tecnológico de Monterrey.
- Orejuela, J. P., & Flórez, A. (2019). Balanceo de líneas de producción en la industria farmacéutica mediante Programación por metas. *INGE CUC*, 15(1), 109-122.
- Pansare, R., Yadav, G., & Nagare, M. R. (2021). Reconfigurable manufacturing system: A systematic review, meta-analysis and future research directions. *Journal of Engineering, Design and Technology*.
- Roldán, J. (2019). *Máquinas y herramientas. Procesos y cálculos mecánicos*. Ediciones Paraninfo, S.A.
- Salazar, B. (2019, noviembre 1). Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF) » Ingeniería Industrial Online. *Ingeniería Industrial Online*.  
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>
- SCHMIDT® Technology. (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2022, de <https://l.schmidtpresses.com/schmidt-prensas-de-ensamble-de-precision/>
- Sibanda, V., Mpofu, K., & Trimble, J. (2021). Methodology for the design of a reconfigurable guillotine shear and bending press machine (RGS&BPM). *Journal of Engineering, Design and Technology*.
- Teixeira, H. N., Lopes, I., Braga, A. C., Delgado, P., & Martins, C. (2019). Screwing process analysis using multivariate statistical process control. *Procedia Manufacturing*, 38, 932-939.

Torrents, A. S., Vilda, F. G., & Postils, I. A. (2010). *Manual práctico de diseño de sistemas productivos*. Ediciones Díaz de Santos.

*Transfersystem TS 5*. (s. f.). Bosch Rexroth Deutschland. Recuperado 27 de enero de 2022, de <https://www.boschrexroth.com/de/de/produkte/produktgruppen/montagetechnik/themen/transfersysteme/transfersystem-ts-5/>

*Transportador de rodillos modular*. (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2022, de <https://www.embalajesterra.com/maquinas-recambios-y-consumibles-de-embalaje/2008-transportador-de-rodillos-modular.html>

Tykkylainen, P., & Karaiste, J. (2007). *Modular assembly line with a pallet with a frame adjustable for a specific workpiece and methods of adjusting and position finding* (United States Patent N.º US20070113391A1).

ZADECON. (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2022, de <https://zadecon.es/soluciones/smed>

## **ANEXO**

## **ANEXO A**

### **Palabras clave:**

Modular, assembly, pallet, conveyor, machine, transport, flexibility.

### **IPC:**

B23P21/00: Máquinas para el montaje de numerosas piezas diferentes destinadas a componer conjuntos, con o sin trabajo de estas piezas antes o después de su montaje, p. ej. por control programado.

B23Q37/00: Máquinas o combinaciones de máquinas para el trabajo de metales realizadas tales combinaciones a partir de unidades concebidas de manera que al menos algunas de dichas unidades puedan tener la condición de elementos de diferentes máquinas o combinaciones de máquinas; Estas unidades en tanto en cuanto el elemento de intercambiabilidad es importante.

B23P19/00: Máquinas que efectúan simplemente el montaje o la separación de piezas metálicas u objetos entre ellos o de piezas metálicas con piezas no metálicas, implicando o no esto una cierta deformación; Herramientas o dispositivos a este efecto en la medida en que no estén previstos en otras clases.

B23P21/00: Máquinas para el montaje de numerosas piezas diferentes destinadas a componer conjuntos, con o sin trabajo de estas piezas antes o después de su montaje, p. ej. por control programado.

B23Q41/02: Aspectos relativos a transferencia de piezas entre máquinas (disposiciones para manipular piezas combinadas con máquinas herramientas para permitir un trabajo en cadena).

B65G37/00: Combinaciones de transportadores mecánicos del mismo tipo o de tipos diferentes, con una finalidad diferente que la de su utilización en máquinas particulares o de su empleo en procesos particulares de fabricación.

**Estrategia:**

nftxt = "Modular" AND nftxt = "line" AND nftxt = "transport"

nftxt = "Modular" AND nftxt = "line" AND nftxt = "transport" AND nftxt = "conveyor"