



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA.
COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

“DISEÑO Y ARRANQUE DE UNA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN- PRODUCCIÓN FLEXIBLE”

M.Sc.A. Carlos Roberto Ibáñez Juárez

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

PRESENTA:

CARLOS SAMUEL LIMÓN VALERO

ASESOR:

M. SC. A. CARLOS ROBERTO IBÁÑEZ JUÁREZ

Dra. Beatriz Aguilar Romero

M.I.A.C Nancy Roxana Ruiz Chavez

PUEBLA, PUEBLA A 14 DE MARZO DE 2023



No. de Oficio SAC/0811/2023

**C. Carlos Samuel Limón Valero -200923344-
Pasante de Licenciatura en Ingeniería
Mecánica y Eléctrica
Presente.**

En atención a la Memoria de Experiencia Profesional que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Experiencia Profesional, se dio revisión y se ha autorizado el reporte denominado:

"DISEÑO Y ARRANQUE DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN-PRODUCCIÓN FLEXIBLE".

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como asesor de tema al Mtro. Carlos Roberto Ibáñez Juárez.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente
"Pensar bien, para vivir mejor"
H. Puebla de Z. a 27 de abril de 2023

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director



M'ACGZ /barv
C.c.p. Interesado
C.c.p. Archivo

Facultad
de Ingeniería

Bvld. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edf. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
222 229 55 00 Ext. 7610

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P r e s e n t e.

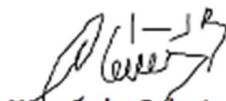
El que suscribe: Mtro. Carlos Roberto Ibáñez Juárez, asesor de Memoria Profesional:

“DISEÑO Y ARRANQUE DE UNA LÍNEA DE PRODUCCIÓN-PRODUCCIÓN FLEXIBLE”.

Presentada por el C. Carlos Samuel Limón Valero -200923344-, pasante del Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, y en atención al oficio No. SAC/0811/2023 con fecha de emisión 27 de abril de 2023, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e
“Pensar bien, para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a de 02 de mayo de 2023



Mtro. Carlos Roberto Ibáñez Juárez
Asesor de Tema

M.Sc.A. Carlos Roberto Ibáñez Juárez

M'CRIJ/BARV
C.c.p. Archivo

AVISO: El uso de este documento, así como su contenido (texto e imágenes) deberá ser única y exclusivamente con propósitos educativos y de investigación, así como divulgación científica y tecnológica.

Contenido

Índice de Figuras.....	7
Índice de Ecuaciones	8
Índice de Tablas.....	8
Capítulo 1. Protocolo.....	9
1.1 Introducción.	9
1.2 Planteamiento Del Problema.....	10
1.3 Objetivos.....	12
1.3.2 Objetivos Específicos.....	12
1.4 Pregunta de Investigación.....	13
1.5 Justificación	13
1.6 Hipótesis	14
Capítulo 2. Marco Teórico.....	15
2.1 Manufactura	15
2.2 Procesos de Manufactura	16
2.3 Tipos de Manufactura	17
2.4 Manufactura Flexible	17
2.5 Producción de Modelos Mixtos	18
Capítulo 3. Metodología	19
3.1 APQP	19
3.1.1 Fase 1: Planeación	20
3.1.2 Fase 2: Diseño y Desarrollo del Producto.....	20
3.1.3 Fase 3: Diseño y Desarrollo del proceso.....	21
3.1.4 Fase 4: Validación del producto y proceso.....	21
3.1.5 Fase 5: Retroalimentación, evaluación y acciones correctivas.....	22
3.2 Lista de materiales	22
3.3 Diagrama de Flujo de Proceso	23
3.5 Layout	25
3.5.1 Layout de estaciones de trabajo.....	26
3.6 Diseño de Líneas de manufactura – Manufactura Esbelta	27
3.7 Takt Time	31
3.8 Productividad	32
3.9 Eficiencia.....	33
3.10 Actuadores electromecánicos.....	34

3.10.1 Funcionamiento	35
Capítulo 4. Línea Ford 1 y su funcionamiento.....	36
4.1 Ubicación y características.....	37
4.2 Volumen y Takt Time	39
4.3 BOM	40
4.4 Flujo de proceso	40
4.5 Instrucciones de operador	46
Capítulo 5. Implementación y mejora continua.....	48
5.1 Consideraciones iniciales	48
5.1.1 Características del proyecto.....	48
5.1.2 Producto	49
5.1.3 BOM	49
5.1.4 Generales.....	49
5.1.5 Takt Time	50
5.2 Desarrollo de propuesta	50
5.2.1 Flujo de Proceso- Propuesta	52
5.2.2 Equipo, dispositivos de ensamble y prueba	59
5.2.2.1 Estación WP 1	59
5.2.2.2 Estación WP 2	62
5.2.2.3 Estación WP 3	62
5.2.2.4 Estación WP 4	64
5.2.3 PPAP.....	67
5.2.3 Liberación de línea de ensamble	69
6. Conclusión	70
7. Bibliografía.....	73
Glosario.....	75

Índice de Figuras

Figura 1. Industria automotriz en México.....	11
Figura 2. Participación en mercado por marca.....	12
Figura 3. Diagramas de manufactura y de valor agregado.....	15
Figura 4. Fases de APQP.....	19
Figura 5. Dibujo técnico.....	25
Figura 6. Estaciones manuales.....	27
Figura 7. Estaciones automáticas.....	27
Figura 8. Línea de ensamble tipo I.....	28
Figura 9. Línea de ensamble tipo U.....	28
Figura 10. Línea de ensamble tipo S.....	29
Figura 11. Línea de ensamble tipo L.....	29
Figura 12. Componentes principales de actuador electromecánico.....	34
Figura 13. Producción por planta.....	37
Figura 14. Layout de planta.....	37
Figura 15. Layout y flujo de materia- línea de ensamble Ford 1.....	38
Figura 16. Perfil de aluminio marca ITEM.....	38
Figura 17. Contenedor plástico.....	39
Figura 18. Flujo de proceso WP 1.....	40
Figura 19. Flujo de proceso WP 1.....	42
Figura 20. Flujo de proceso WP 2.....	43
Figura 21. Flujo de proceso WP 3.....	44
Figura 22. Gráfica Takt Time Ford 1.....	45
Figura 23. Formato de Instrucción de operador.....	46
Figura 24. Diagrama de funcionamiento de actuador.....	48
Figura 25. Flujo de proceso estación WP 1.....	53
Figura 26. Fig. Flujo de proceso estación WP 2.....	54
Figura 27. Flujo de proceso estación WP 3.....	55
Figura 28. Flujo de proceso estación WP 4.....	56
Figura 29. Gráfica de Takt Time calculado.....	58
Figura 30. Layout de línea de ensamble para variante Actuador Ford 1.....	58
Figura 31. Layout de línea de ensamble para variante Actuador Ford 2.....	59
Figura 32. Mecanismo de prensado semiautomático de la estación WP 1.....	60
Figura 33. Plantilla para placa de prensado para actuador Ford 1 con true positions numeradas.....	60
Figura 34. Plantilla para placa de prensado para actuador Ford 2 con true positions numeradas.....	61
Figura 35. Ilustración Placa base (2) y base de prensado intercambiable entre variantes de actuador (1).	61
Figura 36. Perno de bloqueo para sujeción de placa base y placa de prensado.....	61
Figura 37. Herramienta manual para ensamble de resorte de actuador Ford 2.....	62
Figura 38. Estación WP 3.....	63
Figura 39. Sistema de prueba de actuador Ford 1.....	63
Figura 40. Etiqueta individual del producto.....	64
Figura 41. Estación de prueba WP 4.....	65
Figura 42. Impresión de etiqueta individual para producto.....	66
Figura 43. Empaque retornable para piezas.....	66

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación general Takt Time.....	31
Ecuación 2. Ecuación general Tiempo disponible.....	31
Ecuación 3. Formula de productividad	33
Ecuación 4. Fórmula para la eficiencia de la producción.....	33
Ecuación 5. Cálculo de Takt time.	39

Índice de Tablas

Tabla 1. Etapas a cumplir del APQP derivado del tipo de cambio.....	20
Tabla 2. Ejemplo de BOM – Lista de componentes	23
Tabla 3. Flujo de proceso.	24
Tabla 4. BOM Actuador Ford 1.....	40
Tabla 5. Comparativa de BOM's.....	49
Tabla 6. Comparativa de Takt Time.	50
Tabla 7. Características críticas de actuadores Ford 1 y Ford 2.....	52

Capítulo 1. Protocolo

1.1 Introducción.

En la actualidad, sabemos que las grandes industrias como la automotriz se fundamentan en el logro de objetivos productivos y de eficiencia, los cuales están estrechamente relacionados con el progreso o retroceso económico de su desarrollo. ¿Cuántas veces no hemos escuchado en las noticias o leído en los periódicos o sitios de internet sobre los balances económicos anuales o resultados anuales de las compañías?, el panorama de esta información sobre si es buena o no para la compañía, muchas veces puede verse mermada o beneficiada por un solo proyecto; es más frecuente de lo que se piensa cuando una decisión puede marcar el porvenir de una gran empresa, desde su expansión, hasta su quiebre.

Dicho lo anterior y enfocándonos en los procesos productivos de la industria automotriz, podemos referirnos a las líneas de producción como el corazón de las empresas manufactureras. Dado el buen o mal diseño y comportamiento de éstas, podemos definir cómo se verá reflejado en los libros de contabilidad los gastos, pérdidas y ganancias de la empresa.

Las líneas de producción actuales ya no tienen las bases que se acostumbraban hace años, donde se mantenían de manera separada e individual para cada uno de los proyectos y por clientes, esto causaba que los requerimientos de espacio productivo, compra de equipos, gastos de mantenimiento, stock de refacciones y demás gastos fijos siempre fueran al alza, proyectando al mismo tiempo una constante búsqueda de reducción de costos incluso poniendo en juego la calidad de los productos y deficiencias en campo con el usuario final.

En la actualidad se busca una permanente flexibilidad en la utilización de equipos, espacios productivos, herramientas, etc. La flexibilidad se ha convertido en una cualidad relevante a implementar desde el diseño de las líneas productivas, permitiendo el crecimiento a futuro de estas hacia la manufactura de nuevos productos en el mismo espacio y con los mismos recursos.

Por lo tanto, el presente trabajo está enfocado en dar a conocer el método utilizado en 2019 para la implementación de un nuevo proyecto en una línea de producción existente utilizando el concepto de “producción flexible” y bajo la metodología “APQP”; abarcando el ensamble, prueba y empaquetado para

dos modelos diferentes de actuadores electromecánicos y donde se buscará optimizar al máximo los recursos actualmente disponibles y aplicar una inversión reducida en comparación al desarrollo de una nueva línea de producción.

1.2 Planteamiento Del Problema

Por mucho tiempo el desarrollo de líneas de producción “estáticas” se mantuvo vigente en el mercado automotriz internacional, promoviendo el diseño y desarrollo de cada una de ellas para la elaboración de productos específicos, incluso para clientes en particular, siguiendo sus lineamientos y requerimientos de ingeniería y calidad.

Cuando un nuevo proyecto se quiere introducir a los procesos productivos, se diseña y determina todo su equipo tecnológico, personal operario y técnico, requerimientos de instalaciones, herramientas, equipos de prueba, el espacio físico necesario, etc. Todo esto trayendo consigo gastos que dependiendo del acuerdo comercial entre cliente y proveedor; la inversión económica inicial puede recuperarse en meses (mediante el pago de facturas) o incluso años (mediante el pago de costo pieza) haciendo cada vez más difícil el flujo económico sobre todo para la parte proveedora.

Faltaría mencionar todos aquellos gastos indirectos que genera la implementación de una nueva línea de producción, por solo mencionar las más populares, podríamos enfocarnos en la generación de espacio libre en piso productivo, modificación de rutas de abastecimiento de materia prima, generación de condiciones saludables de trabajo como lo son espacios ventilados, luz ambiental aceptable, incluso rutas de evacuación, etc.

Para tener una mejor visión sobre el campo manufacturero automotriz en México y su impacto económico nos referiremos a la siguiente imagen, donde se puede apreciar como la industria automotriz es la primera actividad generadora de divisas en territorio nacional, casi un cuarto del total de la industria manufacturera con un 22%, casi un 2% como fuente generadora de empleo en México y un 8% en la exportación totales de autopartes.¹

¹ Nota. Adaptado de Perspectiva Industria Automotriz. D. Econosignal, (2020). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2020/Perspectiva-Industria-Automotriz-DEconosignal.pdf

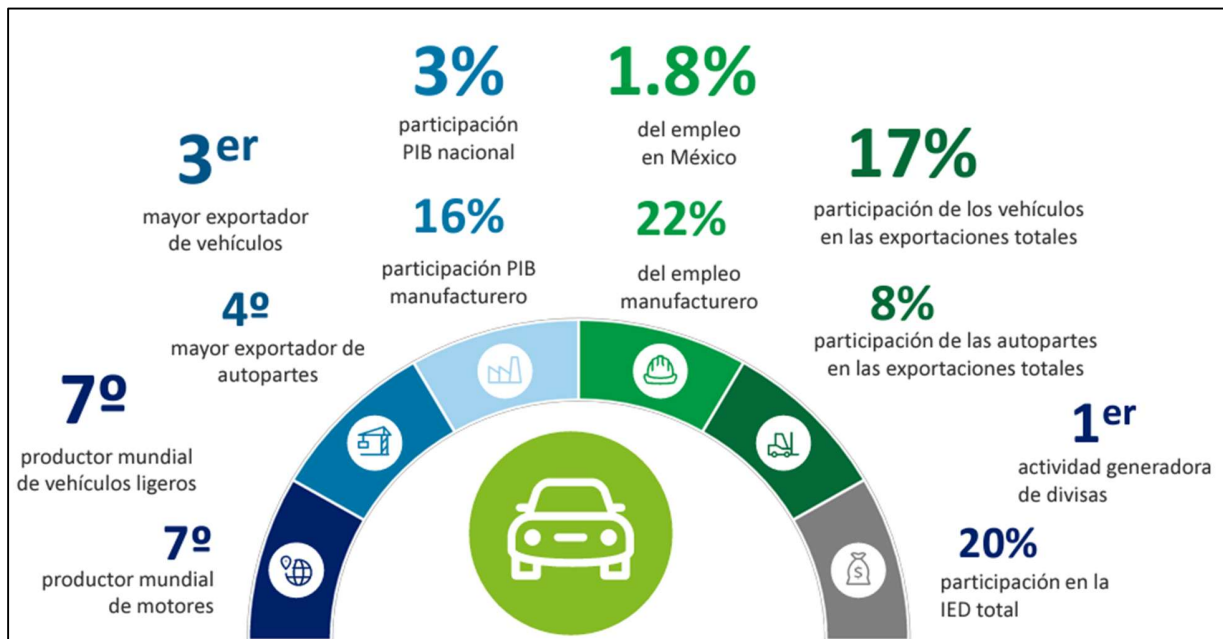


Figura 1. Industria automotriz en México.

Adaptado de Perspectiva Industria Automotriz. D. Econosignal, (2020). [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2020/Perspectiva-Industria-Automotriz-DEconosignal.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2020/Perspectiva-Industria-Automotriz-DEconosignal.pdf)

El diseño de una línea de producción suele ser un proceso largo que puede durar incluso años, donde etapa por etapa se va haciendo la transición desde el diseño y conceptualización hasta la instalación y puesta a punto de personal y maquinaria. Es muy complicado tener un panorama seguro en cuanto a proyectos próximos vigentes y nunca se acabaría de tener una línea de producción lista, si tuviéramos que considerar todos los proyectos futuros posibles.

En el presente proyecto se plasmará la incorporación de un modelo nuevo de un actuador electromecánico a una línea de producción existente que se encuentra en funcionamiento y donde se produce el ensamble de un producto muy similar. El nuevo actuador electromecánico corresponde a un proyecto de recién lanzamiento y para el cual la empresa ha sido elegida para desarrollar el ensamble y empaquetado para su distribución teniendo como punto de uso final la planta de ensamble de Ford Cuautitlán. Este producto representa una nueva variedad en el portafolio de soluciones con las que cuenta la armadora americana, donde buscará entrar al mercado de los vehículos completamente eléctricos con el modelo Match E, el cual parte de su icónico vehículo deportivo Mustang convertido en una SUV de última generación, asentando las bases de su reorganización de vehículos eléctricos (Ford Model e división) y los de combustión interna (Ford Blue división). Con este plan Ford contempla un crecimiento

2. Desarrollar la ingeniería industrial para cada una de las estaciones de trabajo a modificar para el nuevo producto.
3. Validar de acuerdo con los requerimientos específicos del cliente la capacidad productiva y de calidad de la línea de producción.

1.4 Pregunta de Investigación

¿Es posible manufacturar los dos modelos de actuadores electromecánicos en una línea de producción “flexible” bajo la metodología APQP?

1.5 Justificación

La manufactura de varios modelos o productos en una sola línea de producción aumenta la posibilidad de tener procesos más flexibles aumentando la capacidad productiva sin tener la necesidad de realizar cambios de maquinaria o secuencias, con esto podemos evitar el uso de recursos adicionales, baja eficiencia y productividad y maximizar el uso de los recursos disponibles, tanto tecnológicos (maquinaria) o de personal operativo.

De acuerdo con Sistema de Manufactura Flexible (s.f.) “un sistema de manufactura flexible es la integración de los procesos de manufactura o ensamble, flujo de materiales y comunicación y control, donde se tiene como primordial objetivo la respuesta rápida y económicamente eficaz a los cambios en su ambiente operativo”.

Los beneficios de implementar este tipo de prácticas desde el diseño de una línea de producción, puede reducir los costos generados en otros proyectos y dejar un mayor margen de utilidad para la empresa. No solo aplica para proyectos nuevos sino también para proyectos en curso, con la diferencia que, si se aplica desde sus inicios, el beneficio económico puede ser mayor.

De forma indirecta también representa beneficios en términos de ahorro de tiempo y espacio, donde no habrá tiempos muertos por concepto de cambio de platillas de personal operativo o maquinaria y al mismo tiempo la ubicación será la misma, el mismo sitio resguardará dos o más proyectos o productos, maximizando el uso óptimo del piso productivo.

A diferencia del método tradicional para el desarrollo de una línea de producción, al tener previsto la manufactura de varios modelos y querer obtener un proceso flexible, en la etapa más temprana deberán destinarse más recursos, tanto económicos como operativo, ya que de esto dependerá que tanto la línea de producción como proyecto podrá maximizar el tiempo de vida de equipo e instalaciones y las variantes a manufacturar en ese espacio.

Ningún sistema de manufactura puede ser flexible al 100 por ciento, dado que por la naturaleza de cada variante de producto no es posible producir un rango infinito. En consecuencia, un sistema flexible es diseñado para producir familias de partes únicas.

1.6 Hipótesis

Es posible producir los dos modelos de actuadores electromecánicos, Ford 1 y Ford 2 en una línea de ensamble flexible desarrollada bajo la metodología APQP.

Capítulo 2. Marco Teórico.

Con el propósito de tener un mejor entendimiento del proyecto, se considera la siguiente teoría para referenciar los conceptos y el desarrollo de este documento.

2.1 Manufactura

Como definición expresa podemos encontrar que la palabra manufactura se deriva de las palabras latinas *manus* (manos) y *factus* (hacer); de acuerdo con esto podemos denotar que significa hacer con las manos.

De acuerdo con Groover (1997) “la manufactura como campo de estudio en el contexto moderno, puede definirse de dos maneras: tecnológica y económica.” [2] Cuando nos referimos a ella desde el punto de vista tecnológico, nos referimos a cuando cierto material que se destina a ser utilizado para elaborar partes o productos terminados es modificado en su forma, aspecto o incluso sus propiedades mediante procesos físicos o químicos. Normalmente el proceso de manufactura se realiza mediante una secuencia bien establecida de pasos donde uno a uno se acerca más a su estado final.

Por otro lado, económicamente, la transformación de los materiales como materia prima va adquiriendo valor conforme se le asignan diferentes métodos de manufactura, ya sean manuales o automatizados. Por ejemplo, se le agrega valor a la arena cuando se transforma en vidrio mediante un proceso químico, o un automóvil como producto final tiene mayor valor que cuando se vende por componentes individuales.

En las siguientes figuras podemos visualizar como esto se ve representado gráficamente.

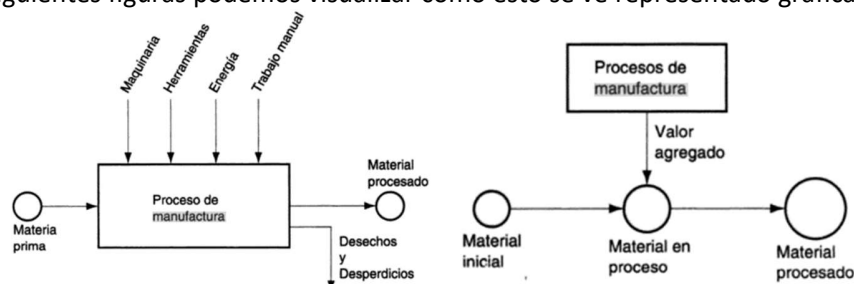


Figura 3. Diagramas de manufactura y de valor agregado.

Adaptado de *Fundamentos de manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas*. P. Groover, Mikkel, (1997).
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tcV0I37tUrOC&oi=fnd&pg=PR13&dq=manufactura&ots=7_RBf_gDXz&sig=bxLyHCNz9R-I05Id1YjM7F0hWrU#v=onepage&q=manufactura&f=false

Observamos que la manufactura no se puede realizar por si sola, se realiza con un propósito meramente comercial donde las empresas manufactureras fabrican y abastecen el mercado brindándole una solución particular al consumidor.

Cabe destacar que en ocasiones las palabras manufactura y producción se usan indistintamente, pero en opinión de Groover (1997), “la producción representa un sentido más general donde no necesariamente se ven relacionados agentes externos en el desarrollo y culminación de un bien o servicio.

2.2 Procesos de Manufactura

A nivel general podemos dividir los procesos de manufactura en dos grandes rubros:

1. Operaciones de proceso
2. Operaciones de ensamble

Groover (1997) define las primeras como “la transformación de un material de trabajo de una etapa a otra más avanzada, situándolo cerca del estado final deseado del producto”, en otras palabras, podemos entenderlo como cualquier actividad donde se cambie la forma, apariencia, propiedades físicas o químicas de algún producto y que conlleve a un estado más próximo al final, por ejemplo el formado para mejorar las propiedades mecánicas de un material, tratamiento de superficies para mejorar la dureza, algún maquinado para modificar la forma de un componente, etc.

Este tipo de operaciones generales suelen establecerse de manera secuencial numerada en un diagrama de operaciones del proceso, donde se establecen las principales actividades que añaden valor al producto, las que suelen considerarse son:

- Operación
- Inspección
- Actividad combinada

Por otro lado, tenemos las operaciones de ensamble, donde como su nombre lo menciona, dos o más piezas se unen para formar una nueva entidad de manera permanente o semipermanente. Por ejemplo, en ensamble manual de dos piezas, el atornillado de dos componentes o el enclipsado de dos carcasas.

2.3 Tipos de Manufactura

- Manufactura funcional a medida

Este tipo de proceso de manufactura suele dedicarse a parte únicas donde las principales herramientas son de uso general como, por ejemplo, tornos, fresadoras, soldadoras, etc., y cuya periodicidad es casi o completamente nula, suelen ser piezas de una sola vez.

- Manufactura por lotes o contra pedido

Este tipo está caracterizado por la fabricación de piezas en distintas variantes y bajo pedidos diversos de cantidad y periodicidad. Por ejemplo, la fabricación de motores en distintas potencias y cantidades durante un periodo de tiempo determinado.

- Manufactura en flujo

Esta modalidad de manufactura se emplea cuando la variedad de productos y versiones es baja, homogéneos y altamente estandarizados. Por ejemplo, la fabricación de automóviles o electrodomésticos.

- Manufactura continua

Opción cuando la variedad de productos o versiones es poca o nula y los volúmenes de entrega son elevados. En este tipo cada equipo tiene funciones específicas. Normalmente son industrias donde el consumo es rápido y el tiempo de abastecimiento es muy corto, por ejemplo, la industria de combustibles o alimenticia.

2.4 Manufactura Flexible

La manufactura flexible es una metodología desarrollada originalmente por Toyota en la industria automotriz, que se centra en eliminar el desperdicio, reducción de inventario, mejora de productividad y aprovechamiento de recursos operativos y tecnológicos.

Los pilares centrales de esta metodología se enfocan en diseñar procesos pensando en una transformación rápida, maximizar el flujo de materia prima y WIP, así como maximizar las capacidades de cada operador para optimizar tiempos de procesos.

Podemos observar que tener flexibilidad en los procesos resulta favorable cuando tenemos diversas variantes de un producto y lo que se busca es reducir al mínimo los tiempos muertos entre actividades.

2.5 Producción de Modelos Mixtos

La manufactura como la conocíamos se ha transformado de acuerdo con la rápida reacción necesaria por parte de los proveedores, donde el mercado cada vez requiere menos tiempos muertos y más capacidad de producción. Ahora la diversidad de productos y variantes que demanda el usuario final se ve traducido en un requerimiento de flexibilidad para aprovechar al máximo los recursos disponibles dentro de las organizaciones.

La práctica de “*Mixed Model Production*” o Producción de Modelos Mixtos por su traducción al español, permite la manufactura de diversos productos con un performance de calidad, eficiencia y productividad igual o mejor entre versiones, ensamblando varios y distintos modelos de un producto en la misma línea de ensamble sin cambios en la secuencia de modo que la demanda de los componentes se suavice a procesos subsecuentes.

La clave y punto de mayor enfoque se encuentra en identificar aquellas operaciones individuales de cada modelo que pudieran combinarse y formar una común, unificando poco a poco los procesos de manufactura. Una vez identificados estos puntos, deberá optarse por recursos tecnológicos que cumplan con ambas condiciones.

Un factor particular que deberá tenerse en cuenta es el humano. Desarrollar operadores con la destreza de cumplir con los requisitos técnicos y de calidad para cada uno de los modelos suele ser una tarea demandante tanto para ellos como para el ingeniero de manufactura a cargo del proyecto, normalmente la curva de aprendizaje es mayor dada la complejidad de estandarizar todos los procesos en celdas únicas.

El contar con unas instrucciones de operador claras y concisas, resaltando los puntos clave de cada proceso deberán considerarse un input importante para el éxito de la nueva línea de producción.

Capítulo 3. Metodología

3.1 APQP

“Advanced Product Quality Planning” por sus siglas en inglés o Planeación Avanzada de la Calidad del Producto, es un proceso básico del Sistema de Gestión de la Calidad, cuyo objetivo es asegurar que los productos se entreguen al cliente con estándares de calidad, a tiempo y con bajos costos. De acuerdo con Aoytes (2018), “sirve como apoyo para cumplir los requerimientos del estándar QS-9000, fija los requerimientos de calidad que deben de cumplir los proveedores de los fabricantes agrupados en el AIAG.”

Con esta herramienta se puede administrar proyectos de lanzamiento o introducción de nuevos productos a los procesos de manufactura. Estos son algunos de los beneficios que brinda:

- Enfoca los recursos para satisfacer al cliente.
- Promueve la identificación temprana de cambios requeridos.
- Evita cambios posteriores en producción.
- Proporciona un producto de calidad a tiempo y al menor costo.

Esta metodología está comprendida por 5 fases las cuales incluyen una serie de entregables, los cuales hacen que el proceso fluya paso a paso cumpliendo con los requisitos específicos del cliente y los recursos de la empresa manufacturera. [5]

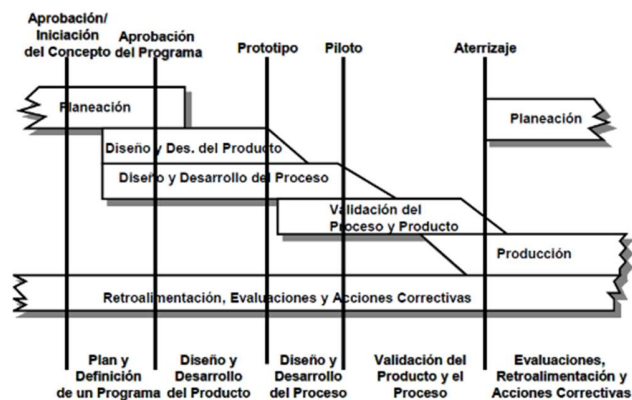


Figura 4. Fases de APQP.

Adaptado de APQP (Advanced Product Quality Planning) y PPAP (Production Part Approval Process). SPC Consulting Group, (s.f.). <https://spcgroup.com.mx/apqp-advanced-product-quality-planning-y-ppap-production-parts-approval-process/#1653414301551-19e1cdc5-57bd>

De acuerdo con el tipo de proyecto al que nos enfrentemos, serán las etapas mínimas que tengamos que cumplir.

Proyecto	Etapas
1- Nuevos proyectos/ productos	1+2+3+4+5
2- Cambios y modificaciones	2+3+4+5
3- Mejoramientos y optimizaciones	2+3+4+5

Tabla 1. Etapas por cumplir del APQP derivado del tipo de cambio.

En ocasiones no es necesario determinadas fases o sus entregables, se deberá de considerar los requerimientos específicos de cada cliente para seleccionar aquellos que apliquen, independientemente de que lo marque o no el manual del APQP. Hay que recordar que los requerimientos específicos del cliente son mandatorios.

3.1.1 Fase 1: Planeación

El objetivo de esta fase es entender claramente las necesidades del cliente. Una de las principales características que se buscará es la definición y creación del equipo de trabajo, los objetivos/metás, roles y procesos de cada miembro del equipo deberán estar claramente delimitadas. Los entregables claves de esta fase son:

- Las metas de diseño.
- Lista preliminar de materiales (BOM).
- Un diagrama de flujo preliminar.
- Miembros del equipo multidisciplinario.

3.1.2 Fase 2: Diseño y Desarrollo del Producto

En esta fase se pretende desarrollar las características del diseño del producto hasta un nivel muy cercano al final y realizar un análisis de factibilidad preliminar para identificar riesgos potenciales durante el proceso de manufactura. Las revisiones de diseño son conducidas para monitorear el avance del proyecto en relación con los requerimientos de los clientes establecidos en la etapa 1 – Planeación.

Adicionalmente es en esta etapa donde el equipo multidisciplinario deberá determinar si se requiere algún equipo o dispositivo de inspección, medición o prueba.

Los entregables claves para esta fase son principalmente:

- DFMEA (AMEF de diseño).
- Diseño para la fabricación y ensamble.
- Verificación del diseño.
- Construcción de prototipos.
- Plan de control preliminar.

3.1.3 Fase 3: Diseño y Desarrollo del proceso

Esta fase es completamente relacionada con el proceso de manufactura diseñado para la fabricación del producto siguiendo los estándares requeridos de calidad. Algunos entregables para esta fase son:

- Diagrama de flujo de proceso.
- Layout de la línea de producción y sus estaciones o celdas de trabajo.
- PFMEA (AMEF de proceso).
- Plan de control.
- Instrucciones de Proceso.
- Plan de mantenimiento preventivo.

3.1.4 Fase 4: Validación del producto y proceso

Esta fase es de vital importancia para validar todas las fases anteriores y su cumplimiento con los requisitos del cliente. El objetivo es la evaluación del proceso de manufactura mediante una corrida de producción significativa donde se pueda demostrar la capacidad de la línea de manufactura. Los entregables para esta fase serán:

- Corrida piloto.
- Evaluación de los sistemas de medición.
- Estudios preliminares de capacidad de proceso.

- Evaluación de empaque.

3.1.5 Fase 5: Retroalimentación, evaluación y acciones correctivas

El propósito de esta fase es evaluar el proceso de manufactura y la planeación de la calidad del producto. Cualquier observación significativa referente al proceso, su calidad y satisfacción del cliente deberá verse reflejado en una minuta junto con acciones a implementar y fecha, esto con el fin de tener un proceso confiable y sobre todo que satisfaga al cliente.

Durante el desarrollo de este proyecto se irán mostrando los entregables utilizados para comprobar cada una de estas fases.

3.2 Lista de materiales

La lista de materiales o BOM (Bill of materials) por sus siglas en inglés, es un listado donde se encuentran plasmados todos y cada uno de los componentes de un producto, incluyendo materiales a granel como lubricantes, materiales de unión como soldadura, etc. Suelen enlistarse de forma numerada junto con el número de piezas por componente contenidos en una sola pieza de producto y encontrarse incluida en los dibujos técnicos del producto en forma de tabla.

“Una lista de materiales se puede utilizar para la comunicación entre los socios de fabricación, o limitarse a una sola planta de manufactura”. [6]

El ingeniero de manufactura en la etapa temprana del proyecto puede hacer uso de esta lista de componentes para visualizar la magnitud del proceso a diseñar, determinar un estimado del tiempo que tomarán las operaciones y el tipo de características que tendrán los componentes (físicas o químicas) e iniciar un análisis de la tecnología y métodos más apropiados a utilizar.

Producto: Actuador Ford 1		
No.	Cantidad	Componente
1	1	Carcasa Inferior
2	1	Husillo
3	1	Deslizante
4	1	Resorte
5	1	Tapa
6	1	Conector electrico
7	1	Cubierta plastica
8	1	Palanca de accionamiento
9	1	Palanca de apertura
10	1	Resorte de palanca de apertura
11	2	Clips
12	1	Foam
13	*	Grasa mecánica

Tabla 2. Ejemplo de BOM – Lista de componentes

3.3 Diagrama de Flujo de Proceso

Un diagrama de flujo se puede definir como una estructura visual estructura donde se establecen las rutinas o pasos de una forma secuencial para lograr un objetivo. Bajo esta concisa definición, podemos entender el valor que tiene un diagrama de flujo en el desarrollo de un proyecto de manufactura, en él se plasmarán en orden secuencial cada uno de los procesos con sus entradas y salidas.

Durante las etapas tempranas del proyecto, no es necesario realizar un diagrama de flujo tan especifico y a detalle, más bien el propósito es visualizar la mayoría de las entradas y salidas que el proceso tendrá de manera que con el paso del tiempo se vaya refinando hasta quedar en una versión final, incluyendo procesos que dependan de herramientas o tecnología, operaciones manuales, ingreso y salida de materiales, etc.

Un completo y bien realizado diagrama de flujo permitirá al ingeniero de manufactura tener completamente mapeado el proceso, así como sus operaciones principales o de mayor importancia, como podrían ser las inspecciones de calidad o aquellas donde alguna característica critica esté presente.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO					
Fabricación Suéter Ref. SG13					
PAG 1 DE 1	MÉTODO ACTUAL	X	MÉTODO PROPUESTO	FECHA: ABRIL 2006	
RESUMEN	OPERACIÓN	TRANSPORTE	ALMACENAMIENTO	RETARDO	INSPECCIÓN
CANT. TOTAL	8	9	2	0	1
DIST. TOTAL		35,7	11,4		
TEM. TOTAL	13,1	12,70	10,6		0,4
DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN	SÍMBOLO DE EVENTO	Distancia (m)	Tiempo (min)	OBSERVACIÓN	
RECEPCIÓN MP	○ → ▽ □	8,2	10		
MP. A TEJEDORAS	○ → ▽ □	4,5	2		
TEJIDO EN MÁQUINAS	● → ▽ □		0,9		
TELAS A ENCONADOR	○ → ▽ □	5,3	2,5		
ENCONACION	● → ▽ □		0,9		
TELA A CORTE	○ → ▽ □	10,8	3,0		
CORTE	● → ▽ □		0,8		
CORTES A COSTURA	○ → ▽ □	2	1		
COSTURA DE PARTES	● → ▽ □		5		
PARTES A FILETE	○ → ▽ □	1	0,5		
FILETE	● → ▽ □		3		
PRENDA A LUPERADORA	○ → ▽ □	1,5	0,6		
LUPERADORA	● → ▽ □		1		
PRENDA A REMATE	○ → ▽ □	0,5	0,3		
REMATE	● → ▽ □		0,5		
PRENDA A VAPORIZADO	○ → ▽ □	9,6	2,5		
VAPORIZADO	● → ▽ □		1		
VAPORIZADO A INSPECCIÓN Y EMBALAJE	○ → ▽ □	0,5	0,3		
INSPECCIÓN Y EMBALAJE	○ → ▽ □		0,4		
ALMACENAMIENTO	○ → ▽ □	3,2	0,6		

Tabla 3. Flujo de proceso.

3.4 Verificación de diseño y manufactura

Conforme avanzan las etapas de un proyecto, principalmente durante las primeras, podemos notar que los cambios en el diseño suelen ser constantes hasta que se alcanza cierto nivel de madurez. Normalmente un bosquejo sirve para dar una estimación de los requerimientos que este podría demandar, por ejemplo, el tiempo aproximado de manufactura, tipos de procesos y equipos necesarios, forma y materiales para su empaque, incluso las operaciones manuales para el ensamble de cada uno de sus componentes.

Con esta premisa la necesidad de mantener un archivo actualizado es de vital importancia, el riesgo de basarse en diseños obsoletos puede generar sobre costos, obsolescencia temprana de equipos, falta de instalaciones necesarias, y un gran número de percances y tiempo desperdiciado durante la maduración del proceso de manufactura.

Los recursos básicos necesarios para llevar a cabo un proceso de verificación de diseño y manufactura suelen ser los dibujos técnicos y los diseños CAD. Una vista explosionada del producto nos

dará un panorama amplio de cómo se pretende construir el producto, al igual que como un archivo CAD podemos interactuar con los componentes, ver sus interacciones, colisiones, etc.

Normalmente los diseñadores no desarrollan el producto en base un proceso, más bien el proceso se adecua al diseño del producto, es por ello la importancia de tener una comunicación cercana entre el ingeniero de manufactura y el diseñador para compartir ideas y hacer de ambos procesos lo más amigables posibles entre ambos. Podemos encontrarnos muchas veces que dadas ciertas formas, perfiles u orientaciones los procesos de manufactura se complican demasiado generando gastos excesivos de tiempo y dinero.

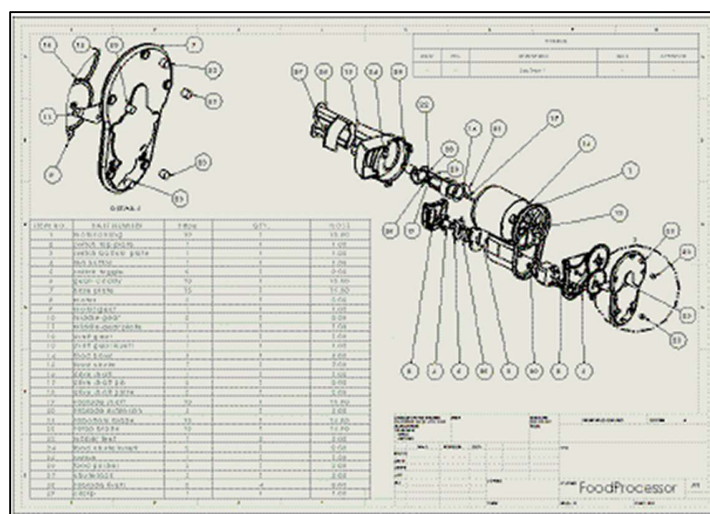


Figura 5. Dibujo técnico.

Adaptado de *Perspectiva general de técnicas avanzadas de dibujo. (s.f.)*. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://gtrevino.files.wordpress.com/2012/02/swdibujo2.pdf](https://gtrevino.files.wordpress.com/2012/02/swdibujo2.pdf)

3.5 Layout

El espacio físico productivo de una empresa manufacturera es de los componentes más esenciales para su correcto funcionamiento y crecimiento, como hemos visto en puntos anteriores, es difícil visualizar cuantos, y de que magnitud serán los proyectos a futuro, es por ello que este punto será de gran importancia cuando hablamos de diseñar un nuevo proceso o generar una mejora en uno ya existente. El espacio productivo disponible deberá aprovecharse al máximo con el fin de poder instalar tantas líneas de manufactura como sea posible, para eso existen diversos tipos de línea de manufactura, que veremos más adelante.

Por el momento debemos de enfocarnos en elegir el lugar con las instalaciones y suministros necesarios para un buen desempeño, por ejemplo, el suministro eléctrico, factores ergonómicos y de salud como contar con una buena ventilación, iluminación, fácil acceso a salidas de emergencia, etc.

Tener en cuenta que es recomendable considerar la ruta logística de suministro de materia prima y recolección de producto terminado, así como espacio destinado a resguardar la misma materia prima en uso y producto en tránsito si hablamos de procesos de subensambles.

3.5.1 Layout de estaciones de trabajo

Estaciones de trabajo o celdas de trabajo, estas representan los diferentes módulos que integraran una línea de manufactura, ya sea que se traten de puestos flotantes en una banda Stein o sean mesas de perfil instaladas directamente sobre el suelo. En ellas estarán ubicados principalmente los contenedores con materiales o componentes a utilizar en las actividades desarrolladas en ese puesto. En el caso de tratarse de estaciones manuales, estas deberán de proveer al operador de todos los recursos necesarios para el desarrollo de sus actividades definidas, como ingenieros de manufactura deberemos cuidar que haya tiempos muertos por falta de componentes, herramientas o algún otro factor que pueda distraer al operador de realizar sus procesos.

Por otra parte, si hablamos de estaciones automáticas o semiautomáticas, estas generalmente están comprendidas por equipo tecnológico que pueden ayudar a la transformación de los componentes o a su inspección. En ambos casos la seguridad hacia el operador o usuarios deberá de ser una prioridad, diversos artefactos pueden ayudar a lograr este requerimiento como lo son, mesas con estabilizadores, cortinas laser de seguridad, contenedores sin fillos y en buen estado, botoneras bimanuales, botones de paro de emergencia, entre otros.



Figura 6. Estaciones manuales



Figura 7. Estaciones automáticas

3.6 Diseño de Líneas de manufactura – Manufactura Esbelta

El diseño de una línea de manufactura dependerá de muchos factores por ejemplo el número de operaciones, el tipo de proceso, si es automático, manual o combinado, el espacio disponible, etc. Sin embargo, siempre deberá analizarse la mejor configuración con el fin de obtener los beneficios de un buen diseño, podríamos referirnos a una buena productividad y eficiencia hasta flexibilidad para el proceso y la cadena de suministro. Las especificaciones del diseño y las necesidades productivas tienden a cambiar con el tiempo, lo que ocasiona que los diseños iniciales de un proceso sufran variaciones.

A continuación, se mostrarán los principales tipos de líneas de manufactura, cabe destacar que puede haber variaciones, incluso combinaciones entre ellas para desarrollar la mejor opción para un proceso determinado.

- **I- Line**

Esta configuración posiblemente es la más sencilla, ya que sus operaciones se presentan de forma recta. Es ideal para procesos cortos, automatizados o aquellos en los que por la naturaleza del producto no puede haber giros o vueltas. Su gran ventaja es el fácil acceso desde los laterales y el frente, el suministro de materia prima se vuelve muy accesible. En cuanto a su desventaja principal sería que en procesos largos el espacio requerido suele ser demasiado, lo que comprendería una disponibilidad de espacio demasiado grande.

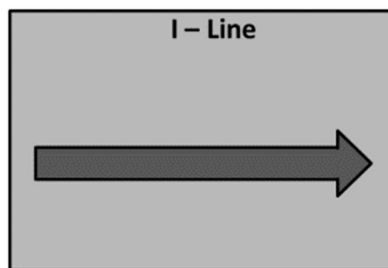


Figura 8. Línea de ensamble tipo I

- **U- Line**

Quizá de las configuraciones más famosas y presentes en la industria manufacturera es la forma U. utilizada principalmente para procesos manuales, brinda el beneficio de tener trayectos cortos entre estaciones de trabajo por lo que resulta buena opción cuando el personal destinado es reducido y un solo operador puede ejecutar varias estaciones. El abastecimiento de la materia prima también resulta de fácil acceso por la parte de afuera de la U y brinda una ocupación de espacio reducido cuando se trata de procesos no tan cortos. La supervisión resulta sencilla ya que se puede tener visibilidad total desde un solo punto.

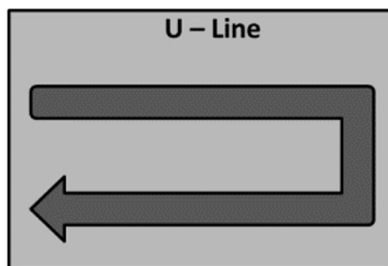


Figura 9. Línea de ensamble tipo U

- **S- Line**

Comúnmente utilizada para procesos demasiado largos, este diseño resulta de gran ayuda cuando se tiene un proceso combinado entre actividades manuales y automatizadas. La logística resulta mejor que una línea del tipo I ya que por su forma permite el fácil acceso a diferentes puntos. Un punto importante a tener en cuenta cuando se opta por un diseño así, son los accesos de maquinaria y operadores, deberán contemplarse con exactitud en el layout para no crear cuellos de botella.

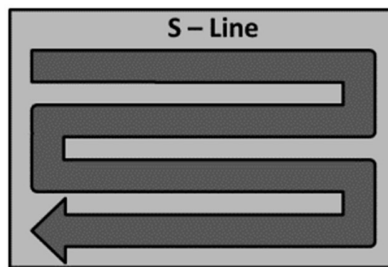


Figura 10. Línea de ensamble tipo S

- **L- Line**

Como una variación de la línea I, el diseño en L representa una mejora si se tiene un sentido a respetar en cuanto a salida y entrada de materia prima o producto terminado. Este tipo de diseño representa un beneficio para la parte logística y suministro.

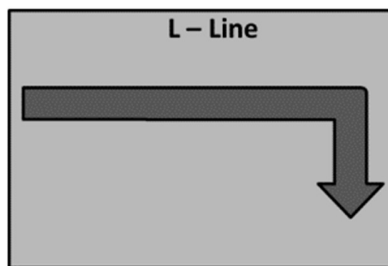


Figura 11. Línea de ensamble tipo L

Cabe destacar que el seleccionar el diseño de línea de producción, no solo tiene que ver con un tema de espacios físicos disponibles, si no con eficientar al máximo posible los recursos disponibles y muy importante el ahorro y no generar desperdicios.

En la industria automotriz principalmente está muy asociado un modelo de gestión y optimización de recursos para un proceso productivo, este se llama “*Lean Manufacturing*” o Manufactura Esbelta en español, el cual se enfoca en minimizar las pérdidas generados por los diferentes componentes de un sistema de manufactura y maximiza el valor para el cliente final.

Como se mencionó antes, esta filosofía se centra en la reducción de desperdicios, pero se centra en 7 principales, que son:

1. Sobreproducción. Este desperdicio está ligado principalmente a la capacidad instalada del proceso, en hacer lo solicitado con los recursos disponibles. En el mundo de la manufactura no sirve de nada hacer mucho en exceso, esto solo evidenciará que el proceso no fue calculado en base a los requerimientos del cliente y pudiera verse afectada la calidad del producto y generar costos adicionales como el almacenaje de todas las piezas excedentes.
2. Tiempo de espera. Como veremos más adelante, el tiempo puede resultar una ganancia o una pérdida económica. Largos tiempos de espera generaran mayores tiempos de producción, costos operativos, etc.
3. Transporte. De la mano con el punto 6 el exceso de manipulación, movimientos o procedimientos tiende a traer tareas repetitivas y no aportar valor a la cadena de suministro, incluso constituye una fuente de generación de errores y defectos si no se tiene la administración adecuada.
4. Exceso de procedimientos. Tareas repetitivas y varios dueños constituyen mayores tiempos de proceso, ligados a mayores costos.
5. Inventario. De la mano con la sobreproducción, a mayor producción, mayor necesidad de recursos operativos y espacios físicos, costos de transporte y largos tiempos de espera en el retorno de capital a la empresa.
6. Movimientos. Todo tiempo que se dedica a mover material y no aporta valor añadido al producto es un desperdicio.
7. Defectos. Los defectos en particular son unos de los desperdicios más perjudiciales para una empresa manufacturera, aparte de que constituyen una fuente de gasto cuando se produce el producto, también generan costos al no cumplir con su función y tener que re TRABAJARLOS o desecharlos y reponer ese producto. También constituyen un valor intrínseco que pudiera dejar a la empresa con una mala imagen ante cliente finales., impactando en futuros proyectos y generación de fuentes de ingresos.

Se puede observar que todos estos desperdicios están fuertemente ligados a la parte productiva y por lo mismo entra en juego un diseño adecuado de una línea de producción. Eliminando estos desperdicios se espera que la resultante sea un proceso ágil y de calidad, considerando a todos los *inputs* de la manufactura.

3.7 Takt Time

Este término derivado de la palabra alemana *TAKT*, que correspondía al ritmo y tiempo en una pieza de música, constituye uno de los inputs más relevantes para el diseño de un proceso de manufactura o incluso mejorar uno ya creado. Este valor nos ayuda a entre muchas cosas más, determinar la cantidad de recursos humanos y tecnológicos para satisfacer las necesidades del cliente. Se encuentra directamente relacionado con el volumen de productos solicitados en un cierto tiempo y con el tiempo disponible que la planta manufacturera tiene para este proceso. En el ámbito de la manufactura se le de acuerdo con Linck & Cochran (1999) conoce como “la velocidad en la que un producto debe ser producido”.

Podemos determinar este valor mediante la siguiente formula:

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Time Available}}{\text{Average Customer Demand per Time Period}}$$

Ecuación 1. Ecuación general Takt Time. Adaptado de The Importance of Takt Time in Manufacturing System Design. Linck & Cochran. (1999). Massachusetts Institute of Technology

Donde el valor de *Time Available* se refiere al total del tiempo disponible menos los tiempos de paro programados por ejemplo paros por mantenimiento, juntas, recesos, etc.

$$\text{Time Available} = \text{Total Time} - (\text{Maintenance Time} + \text{Time Allowances})$$

Ecuación 2. Ecuación general Tiempo disponible. Adaptado de The Importance of Takt Time in Manufacturing System Design. Linck & Cochran. (1999). Massachusetts Institute of Technology

Y el *Average Customer Demand* se refiere a los volúmenes requeridos por el cliente, normalmente en la industria automotriz se tiene la convención de utilizarlos de forma anual, por lo que para determinar el Takt time nos deberemos de referir a los días disponibles a lo largo del año.

A continuación, veremos un ejemplo de cómo se calcularía el Takt time para una demanda anual de 500 mil piezas.

Datos:

Volumen anual= 500,000

Semanas disponibles al año= 52

Días por semana disponibles= 6

Horas por día disponibles 7.5 (se considera .5 hora para comida)

OEE (disponibilidad de línea, paros programados, etc.) = 95%

$$\frac{52 * 6 * 7.5 * 0.95}{500000} * 3600 \frac{sec}{hr} = 48.02 sec$$

Con este valor resultante podemos determinar que para el diseño de nuestro proceso deberemos de considerar 48.02 como valor máximo de cada una de las celdas o estaciones de trabajo, cuidando que las actividades que se realicen en ellas no superen este valor para asegurar el cumplimiento de la demanda bajo estas condiciones.

3.8 Productividad

Este concepto popular entre la industria manufacturera forma parte de los principales indicadores clave que todo gerente e ingeniero de manufactura tiene en constante monitoreo. Este valor normalmente expresado de manera porcentual nos indica “la cantidad de producción generada en un cierto lapso de tiempo” [13]; en la mayoría de las industrias se acostumbra a medir hora a hora la productividad para posteriormente sacar un promedio diario. El resultado puede significar un input para determinar el comportamiento de un proceso, áreas de oportunidad y mejora, toma de decisiones, maximizar y dirigir recursos con mayor precisión, etc. Las opciones son variadas dependiendo del objetivo que se tenga en mente.

El valor de la productividad se calcula a partir de la cantidad de producción generada dividida por el tiempo disponible como podemos observar en la siguiente formula:

$$Productividad = \frac{Producción}{Horas trabajadas}$$

Ecuación 3. Formula de productividad. Como calcular la productividad de los empleados. Borja. (2017). <https://arrizabalagauriarte.com/indicadores-productividad-calculer-la-productividad-los-empleados/>

3.9 Eficiencia

Como vimos en el punto anterior, la productividad nos sirve para visualizar cuanto se produce de acuerdo el tiempo disponible, ahora el concepto que analizaremos será el de la *Eficiencia*, el cual nos muestra cuanto se produce con respecto a cuanto debería de ser producido.

Para todas las empresas es importante generar más unidades, más ventas, etc., destinando menos mano de obra, menos costos y menos desperdicio. En principio, la eficiencia de los procesos industriales se centra en el máximo rendimiento que se puede alcanzar utilizando los mismos recursos de los que se dispone. Esto permite a las empresas lograr un buen equilibrio entre la minimización de los costes y la maximización de los recursos, manteniendo la calidad de los productos.

La eficiencia de un proceso de manufactura se mide dividiendo la tasa de producción real de un trabajador entre la tasa de producción estándar y multiplicando el resultado por 100.

$$Eficiencia\ de\ la\ producción = \left(\frac{tasa\ de\ producción\ real}{tasa\ de\ producción\ estándar} \right) * 100$$

Ecuación 4. Fórmula para la eficiencia de la producción. Adaptado de Aplicación del tiempo estándar. Salazar López, B. (2019). <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/estudio-de-tiempos/aplicacion-del-tiempo-estandar/>

Donde la *Tasa de producción real* constituye la producción que se ha producido de forma efectiva y la *Tasa de producción estándar* es “el volumen de trabajo que un empleado capacitado puede producir por unidad de tiempo utilizando un método prescrito con el esfuerzo y las habilidades necesarias” [14].

3.10 Actuadores electromecánicos

Los actuadores electromecánicos actuales para el sector automotriz consisten en productos simples en su composición y funcionamiento que acoplados a diferentes palancas y acoplamiento tienen la capacidad de diversificar su funcionamiento.

En sus inicios este tipo de productos era destinado a componentes pequeños y a los cuales se le añadía una función meramente de *confort*, lejos de brindar una solución a una necesidad del cliente, más bien se optaba por dar un plus en los automóviles de segmento premium. Con el paso del tiempo el uso de estos actuadores fue aumentando, así como sus capacidades. Por ejemplo, los primeros usos al que se destinaron, era a la apertura de guanteras, tapones de gasolina y accionamiento de cabeceras y con el paso del tiempo ahora los podemos encontrar acoplados a dispositivos de apertura remota de cajuelas, bateas de camionetas, incluso en vehículos eléctricos en apertura de puertas y cofres.

Algunas de las ventajas que este tipo de productos brindan al cliente son:

- Manejo de altos esfuerzos
- Alta flexibilidad en adaptación de fuerzas, tiempo de activación y recorrido
- Diseño robusto y durable
- Gran capacidad de adaptación en productos

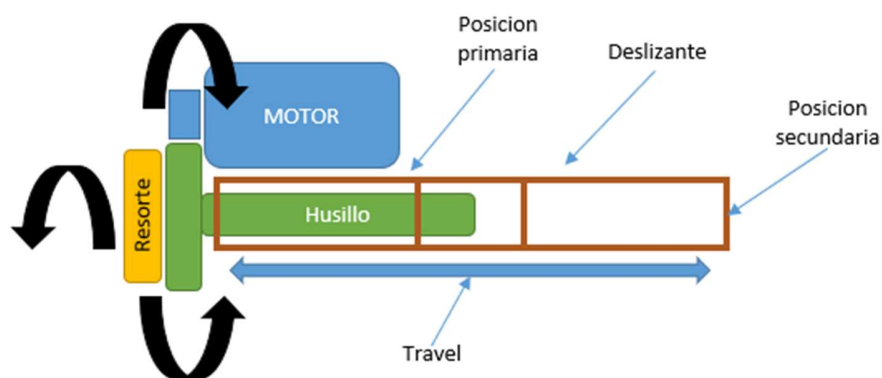


Figura 12. Componentes principales de actuador electromecánico

3.10.1 Funcionamiento

El funcionamiento básico del actuador está dado por sus 6 componentes principales:

1. Husillo
2. Deslizante
3. Resorte
4. Motor
5. Carcasa inferior
6. Carcasa superior

Ambas carcasas sirven de soporte tanto superior como inferior para el sistema acoplado del husillo-deslizante-resorte, al mismo tiempo que limitan el recorrido del accionamiento según la especificación deseada.

El resorte aporta la función retráctil al ensamble de husillo y deslizante para que después de cada accionamiento este regrese a su posición inicial y de nueva cuenta empiece el ciclo.

El motor a partir de una fuente de alimentación brinda al actuador la energía eléctrica para realizar el desplazamiento del ensamble husillo- deslizante. Y, por último, el ensamble husillo deslizante es el mecanismo que realiza el desplazamiento a lo largo para ya sea abrir, cerrar o accionar otro mecanismo, como por ejemplo empujar unas palancas.

Capítulo 4. Línea Ford 1 y su funcionamiento.

Ford Motor Company, mejor conocida como Ford es una de las empresas automotrices con más renombre a nivel mundial, conocida por sus diseños rudos y vanguardistas, esta empresa automotriz tiene dentro de su catálogo de productos desde automóviles de pasajeros familiares hasta camionetas y camiones de trabajo pesado, incluso vehículos de alto performance para carreras automotrices. Famosa por la implementación de las primeras líneas de producción secuencial en el mundo manufacturero específicamente el automotriz, tiene su sede central en la ciudad de Dearborn, en el estado de Michigan, Estados Unidos y múltiples sedes productivas y administrativas dispersas por todo el mundo, algunas de ellas en Alemania, Argentina, Canadá, India, México, etc.

En la actualidad Ford Motor Company produce un estimado de más de 6,6 millones de vehículos anualmente que produce en sus 61 fábricas, de las cuales 31 se encuentran localizadas en Estados Unidos, área que constituye su principal mercado, alojando el 45% de sus ventas globales. Solo por detrás de Toyota, Volkswagen, Hyundai Motor Group y General Motors, Ford se ubica en el quinto lugar como fabricante mundial de automóviles.²

Ford llega a México en junio de 1925, convirtiéndose en la primera automotriz en instalarse en territorio nacional. Localizada en la Ciudad de México, producía un promedio de 25 unidades diarias. Después de casi 9 décadas de operaciones, Ford cuenta con dos plantas de ensamble (Cuautitlán y Hermosillo), una planta de motores (Chihuahua) y una de transmisiones (Irapuato). Con este panorama Ford se coloca a nivel nacional como el sexto productor más importante del país, solo por atrás de GM, VW, FCA, KIA y Renault.

² Nota. Adaptado de Perspectiva Industria Automotriz. D. Econosignal, (2020). [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2020/Perspectiva-Industria-Automotriz-DEconosignal.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2020/Perspectiva-Industria-Automotriz-DEconosignal.pdf)

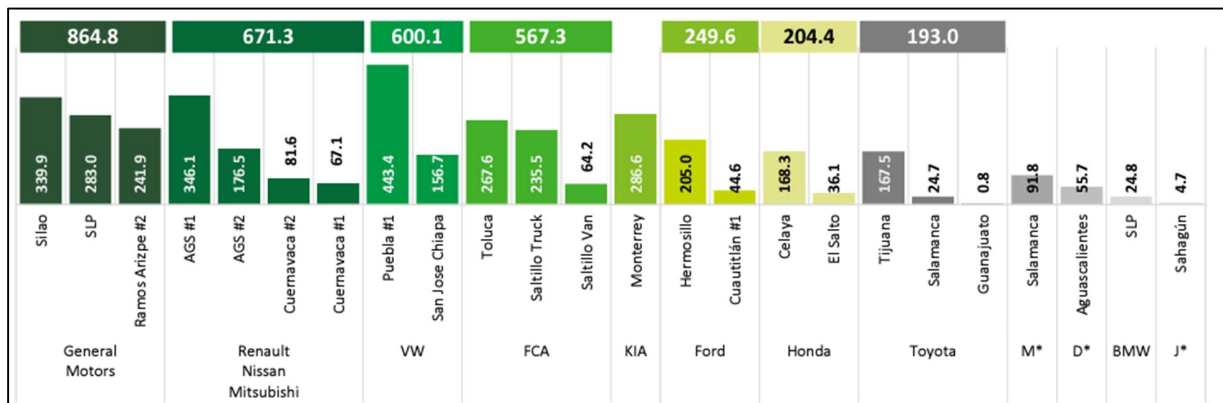


Figura 13. Producción por planta.

Adaptado de Perspectiva Industria Automotriz. D. Econosignal, (2020). [chrome-extension://efaidnbmninnipocajpcgclefindmkaj/https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2020/Perspectiva-Industria-Automotriz-DEconosignal.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2020/Perspectiva-Industria-Automotriz-DEconosignal.pdf)

En esta parte del proyecto se presentará el estado anterior en el que se encontraba configurada la línea de Ford 1, la cual fue seleccionada para implementar en ella el nuevo proyecto mediante el concepto de “producción flexible”.

4.1 Ubicación y características

La línea de Ford 1 está ubicada en la nave 1 al norte de la planta cerca del acceso principal a líneas de manufactura.

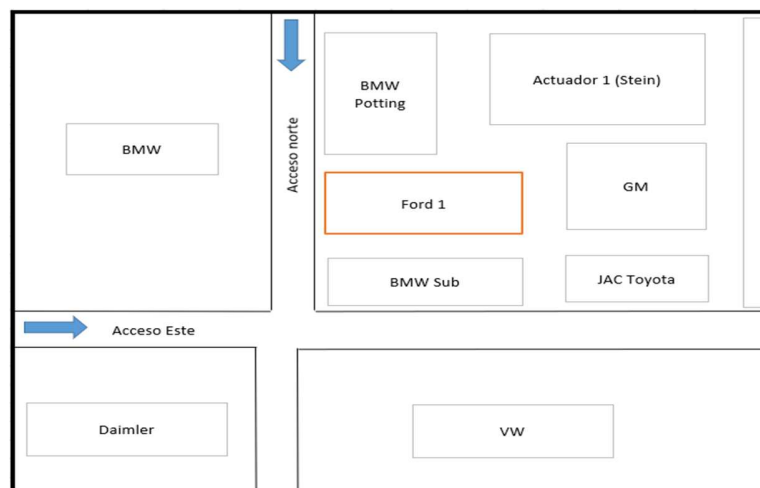


Figura 14. Layout de planta

Comprendida por 2 estaciones manuales y una EOL Tester semiautomática construidas a partir de mesas estándar de medidas 90 cm x 60 cm x 100 cm (largo, ancho, alto) con tresa de ½ “y perfiles de aluminio marca ITEM de 40 x 40 mm.

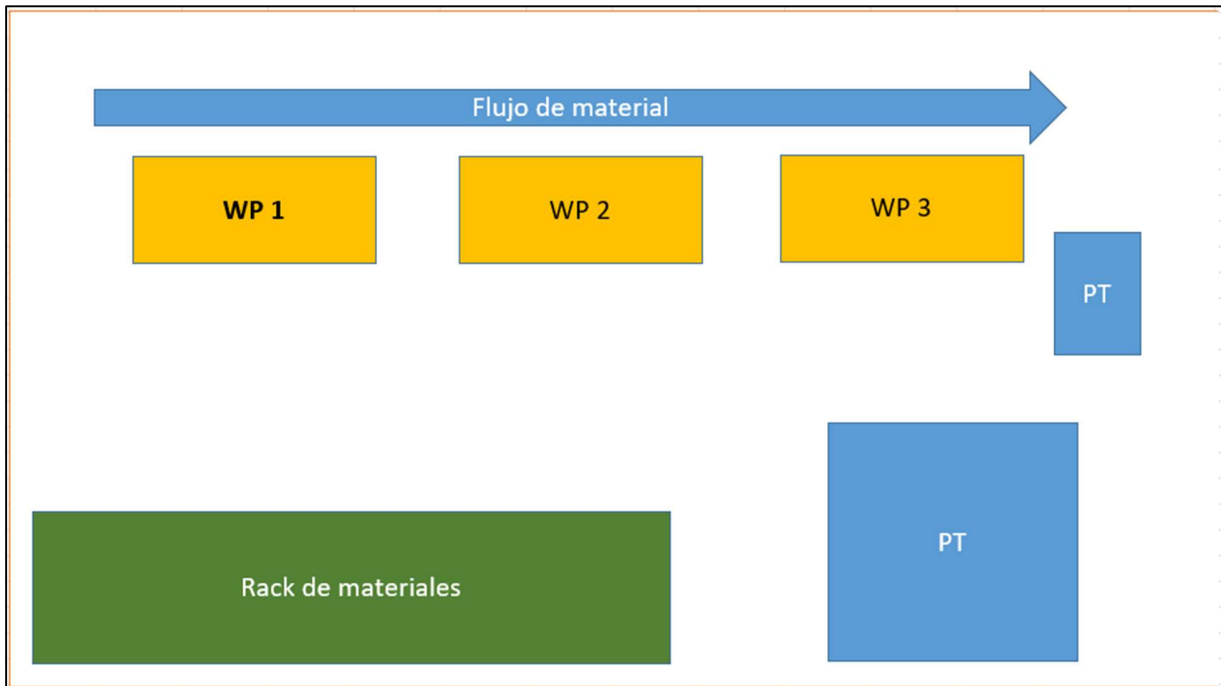


Figura 15. Layout y flujo de materia- línea de ensamblaje Ford 1



Figura 16. Perfil de aluminio marca ITEM

Cada una de las estaciones cuenta con contenedores plásticos para la disposición de los componentes a utilizar, estos pueden ir fijados directamente en la trespá o soportados en un perfil ITEM de aluminio.



Figura 17. Contenedor plástico.

4.2 Volumen y Takt Time

Los datos comerciales para el desarrollo de esta línea de manufactura se enlistan a continuación, estos en cumplimiento con los requisitos específicos del cliente y su logística operacional.

- Volumen anual demandado= 350,000 actuadores
- Semanas/ año= 52
- Días/ semana= 6
- Horas/ día= 7.5
- Turnos / día= 3

Para el cálculo del *Takt time* se utilizará un OEE de 95% teniendo en cuenta los tiempos de mantenimiento, paros no programados, juntas de equipo, etc.

$$Takt\ time = \frac{52 * 6 * 7.5 * 3 * 0.95}{350000} * 3600 = 68.59\ s$$

Ecuación 5. Cálculo de *Takt time*.

Este es el valor limite el cual tendríamos que respetar para cumplir con la demanda anual del cliente. A continuación, veremos cómo se encuentra diseñado el proceso actual y que tiempos estamos manejando.

4.3 BOM

La lista de componentes para el Actuador Ford 1 está constituida por 13 partes, de los cuales 12 son piezas únicas y una grasa usada como lubricante mecánico a granel.

Producto: Actuador Ford 1		
No.	Cantidad	Componente
1	1	Carcasa Inferior
2	1	Husillo
3	1	Deslizante
4	1	Resorte
5	1	Tapa
6	1	Conector electrico
7	1	Cubierta plastica
8	1	Palanca de accionamiento
9	1	Palanca de apertura
10	1	Resorte de palanca de apertura
11	2	Clips
12	1	Foam
13	*	Grasa mecánica

Tabla 4. BOM Actuador Ford 1

4.4 Flujo de proceso

En seguida podemos visualizar un ejemplo de cómo fue elaborado el diagrama de flujo de proceso de la estación WP1 para la línea de producción Ford 1. El presente formato incluye:

Flujo de proceso											
Estación:	WP 1	Nombre del proceso: Ensamble de actuador				10	Ensamble	Inspección	Critica	Ambiental	Transporte
No.	Cantidad	Componente	3	Act	4	Tiempo (s)	●	▲	▲	♻️	➡️
1	1/1	Carcasa inferior/ Motor				3	5	6	7	8	9
			Tomar con mano izquierda carcasa inferior del contenedor y colocar sobre fixture de ensamble. Con mano derecha tomar un motor y ensamblarlo en carcasa inferior.								

Figura 18. Flujo de proceso WP 1

1. No. – Número consecutivo de operación.
2. Cantidad – número de componentes requeridos para realizar el proceso de manufactura.
3. Componente – Nombre del componente a utilizar es ese paso del flujo del proceso.
4. Act – desarrollo detallado de cómo se realizará la actividad, ya sea de ensamble, revisión o cualquier otra relacionada con el proceso de manufactura.
5. Ensamble – Icono destinado a identificar las operaciones relacionadas con un proceso de ensamble.
6. Inspección – Icono que deberá seleccionarse para identificar las operaciones de inspección de cualquier tipo, pueden ser de forma manual mediante alguna acción del operador o automática mediante algún sistema tecnológico, como lo son cámaras de inspección, sensores de presencia, proximidad, etc.
7. Critica – Este icono nos permitirá identificar aquellas actividades relacionadas con alguna característica crítica funcional o de seguridad plasmada en el dibujo, plan de control, DMFEA o PFMEA.
8. Ambiental – Icono destinado a identificar aquellas operaciones donde se hace uso de alguna sustancia con impacto ambiental, podemos referirnos a lubricantes, aceites o grasas, soldadura, líquidos corrosivos, etc. También deberemos de considerar el uso del equipo de seguridad adecuado para el operador cuando haga uso de esas sustancias o materiales.
9. Transporte – Icono destinado a identificar las actividades donde el material cambia de ubicación, puede ser interno – de estación a estación- o externo -de línea de ensamble a flejado-.
10. Tiempo – Expresado en segundos, este es el valor que le toma a cada actividad ser realizado por el operador, normalmente a este se le considera con un porcentaje de holgura el cual se pretende ser absorbido durante la rampa de aprendizaje y desarrollo de habilidad. En la parte inferior de la columna podemos identificar el total del tiempo acumulado en esta estación de trabajo. Este valor deberá ser igual o menor a nuestro *Takt Time* calculado, de esta forma podemos satisfacer los requerimientos de demanda del cliente.

A continuación, veremos los diagramas de flujo de las tres estaciones que corresponden al proceso de ensamble del actuador Ford 1 y que será nuestra referencia para el desarrollo de esta investigación.















Flujo de proceso										
Estación:	WP 1	Nombre del proceso: Ensamble de actuador				Ensamble	Inspección	Crisis	Ambiental	Transporte
No.	Cantidad	Componente	Act	Tiempo (s)						
1	1/ 1	Carcasa inferior/ Motor	Tomar con mano izquierda carcasa inferior del contenedor y colocar sobre fixture de ensamble. Con mano derecha tomar un motor y ensamblarlo en carcasa inferior.	3						
2	1	Husillo	Tomar husillo con mano derecha	1						
3	1	Deslizante	Tomar deslizante con mano izquierda y ensamblar con husillo	3						
4			Tomar subensamble con mano derecha	1						
5	1	Resorte	Tomar con mano izquierda un motor y ensamblar son subensamble de husillo/deslizante	3						
6			Colocar subensamble de resorte/husillo/deslizante en carcasa inferior	3						
7			Verificar visualmente que el subensamble quede bien asentado en la carcasa inferior	1						
8			Accionar bimanuales para activar engrasado semiautomático de subensamble husillo/ deslizante	3						
9			Verificar visualmente la presencia de tres puntos de grasa sobre el subensamble de husillo/deslizante	1						
10	1	Tapa	Tomar con mano izquierda una tapa y con ayuda de la otra mano enclipsarla con la carcasa inferior	3						
11			Accionar bimanuales por segunda vez para activar el prensado de tapa semiautomático	3						
12			Retirar pieza de fixture de ensamble y verificar visualmente que todas las pestañas de la tapa estén completamente enclipsadas con la carcasa	2						
13			Colocar pieza en resbaladilla hacia la siguiente estación	2						
Total				29						

Figura 19. Flujo de proceso WP 1.













Flujo de proceso									
Estación:	WP 3	Nombre del proceso: Verificación de funcionamiento y empaque			Ensamble	Inspección	Critica	Ambiental	Transporte
No.	Cantidad	Componente	Act	Tiempo (s)					
1			Tomar con mano izquierda un subensamble de la resbaladilla de la estación WP2 y verificar visualmente que el resorte se encuentre completamente enganchado y asentado en la carcasa inferior.	2					
2			Colocar subensamble en el fixture de ensamble y prueba	2					
3	2	Clips	Tomar dos clips, uno con cada mano y ensamblar en carcasa inferior	3					
4			Accionar bimanuales para activar el prensado semiautomático de los clips y verificación de la pieza	5					
5	1	Foam	Mientras se realiza la secuencia de prueba del actuador tomar con mano derecha un foam de la plantilla						
6			Tomar el actuador del fixture de ensamble y prueba. Con mano derecha colocar el foam sobre la zona del motor.	3					
7			Realizar las siguientes inspecciones visuales: -Pestañas completamente eclipsadas -Cubierta plastica completamente asentada -Resorte de palanca de apertura enganchado y asentado sobre carcasa inferior - Clips completamente asentados y sin daños - Foam colocado sin daños	5					
8	1	Etiqueta individual	Tomar etiqueta individual y colocar sobre actuador. Identificar pieza con un punto de color	3					
9			Colocar actuador en caja de empaque	2					
Total				25					

Figura 21. Flujo de proceso WP 3

De acuerdo con los flujos de proceso podemos observar que la primera estación de trabajo WP 1 es la que determina el tiempo ciclo de la línea de manufactura con 45 segundos. La cual alberga el ensamble de los componentes internos del actuador electromecánico; husillo y deslizante siendo los principales integrantes del conjunto mecánico y el motor eléctrico el indispensable componente eléctrico para desempeñar la función solicitada por el cliente.

Por debajo, pero siguiendo de cerca a la estación WP 1, encontramos la estación WP 2 la cual es requerida para el ensamble de los componentes auxiliares y que conectan al vehículo directamente, como lo son la palanca de apertura y la palanca de accionamiento. El tiempo de esta estación incluyendo sus inspecciones visuales es de 33 segundos.

En último lugar tenemos la estación WP 3, la cual tiene como actividades del ensamble de clips y la prueba funcional de la pieza, aquí se revisará que el desempeño del actuador sea el óptimo comparado con los valores que el cliente considera perfectos para su función. Esta estación tiene 34 segundos considerando las inspecciones visuales y empaque del producto.

Aunque notamos que hay variación en los tiempos de proceso de cada estación, se puede observar que no estamos rebasando el *Takt time* calculado en los puntos anteriores, esto nos deja en ventaja y con la posibilidad de optimizar el proceso, aunque no es el objetivo de esta investigación.

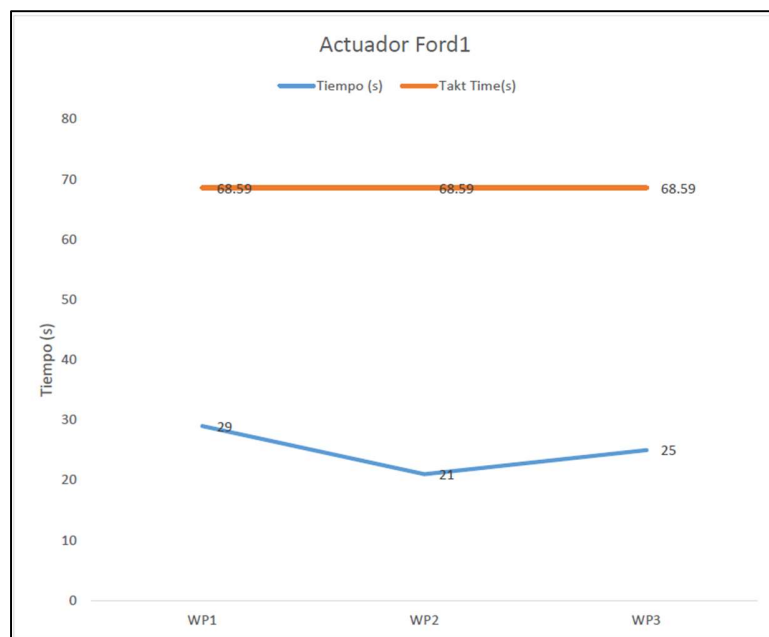


Figura 22. Gráfica Takt Time Ford 1

4.5 Instrucciones de operador

Las instrucciones de operador o de proceso, es el documento por excelencia dirigido al personal operativo perteneciente a la línea de producción y son particulares de cada estación. Cada empresa tiene su propio formato, pero los elementos de su contenido suelen ser estándar entre ellos. Como se verá a continuación la información básica que deberá contener este documento es:



Estación de trabajo y descripción de proceso			
Instrucción: Siteo y aceptación del ensamble de acuerdo a Checklist. Inspección: final armazue o cambio de modelo. Responsable: Supervisor/ Uder.			
No. De estación: 1	Responsable: 2 dez	Fecha: 3	
Línea de ensamble: 4		Área/centro de costos: 5	
Descripción de la tarea		Ensamble de actuador	
Dispo. De material: Por operador <input type="checkbox"/> Materialista <input checked="" type="checkbox"/>		Aseguramiento de Calidad:	
* Inspección: Autocomprobación por parte del operador. * Alcance de prueba: 100% armazue por parte del operador. * Piezas con ensamble NOK o dañadas poner a la caja roja. * Si se generan o encuentran 3 o mas piezas NOK con la misma falla informar al Supervisor/Lider. * Piezas NOK del "DRP/SPK" informar desde la primer pieza. * Piezas caídas al suelo poner en la caja roja. * Supervisor/Lider 6 se rige según SOP-GL-QA-040.		Parte de seguridad 	
No. 7	Descripción	No. Parte 8	
1.	Pieza Base (GTP)	4631 4193	
2.	Tapa, cover (ZVD)	4610 4193	
3.	Decilante Slider (SHI)	4620 4193	
4.	Huelle spindle (SP)	4640 4193	
5.	Motor (EMO)	4110 4193	
6.	Foam (DTG seat)	4611 4193	
7.	Conector (STA, conector Asy)	4602 4186	
8.			
9.			
10.			
Equipo de protección personal:			
Guantes: <input checked="" type="checkbox"/> lentes: <input checked="" type="checkbox"/> Cubrebocas: <input checked="" type="checkbox"/> protector de oídos: <input type="checkbox"/>			
Secuencia de operación 10			
			
Plan de reacción: 11			

Figura 23. Formato de Instrucción de operador

- [1], [4]. Nombre y número de operación de acuerdo con diagrama de flujo de proceso.
- [2]. Persona responsable del proyecto.
- [3]. Fecha de emisión o actualización del documento.
- [5]. Identificación de materiales y disposición.
- [6]. Clasificación de características especiales e instrucciones para acciones correctivas.
- [7], [8]. Nombre y número de parte.
- [9]. Requerimientos de seguridad.
- [10]. Ayudas visuales y procedimiento.
- [11]. Instrucciones de procedimientos alternos de emergencia.

Capítulo 5. Implementación y mejora continua.

5.1 Consideraciones iniciales

5.1.1 Características del proyecto

En 2019 como resultado de la revolución eléctrica en el sector automotriz, Ford decide incorporar a su portafolio de productos su primer vehículo completamente eléctrico. Este nuevo vehículo contará con apertura de cofre de forma electromecánica, la interacción principal será mediante un botón eléctrico ubicado en el IP del vehículo y contará con un sistema de emergencia mecánico, esto acoplado a una cerradura central para el cofre, ver esquema.

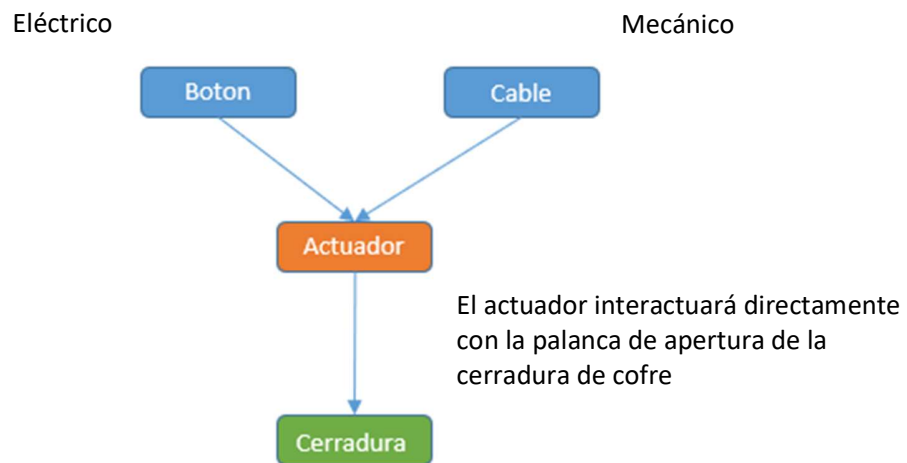


Figura 24. Diagrama de funcionamiento de actuador

Como premisas se recibe información acerca del volumen solicitado por el cliente, la cual se describe a continuación:

- Volumen anual: 500,000
- Vida del proyecto: 5 años (más 3 de refacciones)

5.1.2 Producto

Como se mencionó en el apartado anterior el producto consta de un actuador electromecánico, funcionará a partir de un motor de 12V, 5A; con un mecanismo mecánico integrado por un ensamble de Husillo y Deslizante acoplado a una palanca de activación y a la vez a una de apertura.

Las características a controlar serán las true positions de ensamble en posición vehículo y el travel de la palanca de apertura.

5.1.3 BOM

A primera vista podemos confirmar que el nuevo producto es muy similar al Actuador Ford1, a continuación, veremos una comparativa entre BOM's de ambos modelos.


Producto: Actuador Ford 1			Producto: Actuador Ford 2		
No.	Cantidad	Componente	No.	Cantidad	Componente
1	1	Carcasa Inferior	1	1	Carcasa inferior
2	1	Husillo	2	1	Husillo
3	1	Deslizante	3	1	Deslizante
4	1	Resorte	4	1	Resorte
5	1	Tapa	5	1	Foam interno 
6	1	Conector electrico	6	1	Tapa
7	1	Cubierta plastica	7	1	Conector electrico
8	1	Palanca de accionamiento	8	1	Cubierta plastica
9	1	Palanca de apertura	9	1	Palanca de accionamiento
10	1	Resorte de palanca de apertura	10	1	Palanca de apertura
11	2	Clips 	11	1	Resorte de palanca de apertura
12	1	Foam	12	*	Grasa mecánica
13	*	Grasa mecánica			

Tabla 5. Comparativa de BOM's.

Ambos modelos tienen casi los mismos componentes, a excepción de los Foams y los clips que incluye el modelo Ford 1.

5.1.4 Generales

- Dado que el volumen requerido por el cliente se considera bajo, se puede optar por unificar o integrar este proceso a uno ya existente y de similares condiciones.
- Actualmente la planta no cuenta con un espacio disponible para instalar una línea de producción nueva. Los espacios disponibles se encuentran ocupados para proyectos de magnitudes más grandes.

- Con el fin de incrementar las ganancias y acortar costos la campaña de procesos flexibles para nuevos proyectos es mandatoria.
- Se pretende reutilizar mesas de trabajo, personal operativo, instalaciones eléctricas y neumáticas, esto acortará los tiempos de instalación y la inversión inicial para la línea de manufactura.
- Por tratarse de un actuador electromecánico, se decide fusionar con una que actualmente produzca un producto similar y del mismo cliente.

5.1.5 Takt Time

De acuerdo con los estándares de la empresa, se calculará el *Takt Time* requerido para cumplir con la demanda anual del cliente.

$$Takt\ time = \frac{52 * 6 * 3 * 7.5 * 0.95}{250000} * 3600 = 96.03\ s$$

Dadas las mismas condiciones de trabajo y tiempo disponible para la producción de ambos actuadores tenemos la siguiente comparativa.

Modelo	<i>Takt time</i>
Actuador Ford 1	68.59
Actuador Ford 2	96.03

Tabla 6. Comparativa de Takt Time.

Podemos ver que el cálculo del *Takt Time* sigue al tamaño del volumen, como el volumen del actuador Ford 2 es mayor, se requiere un proceso más rápido para poder cumplir con la entrega de la demanda anual.

5.2 Desarrollo de propuesta

Hasta este punto de la presente investigación, hemos sentado las bases técnicas del estado actual de la línea de producción, las condiciones iniciales del proyecto del actuador electromecánico modelo Ford 2 y descrito la metodología a utilizar para el fin que se quiere conseguir, que es, la implementación de una línea de ensamble del tipo “Mixed Model Production” bajo la metodología APQP. Ahora

iniciaremos con el desarrollo del modelo de la nueva línea de manufactura, junto con cada uno de sus entregables documentales.

Tenemos bien definido cual es el propósito de este proyecto, incorporar el nuevo modelo del actuador electromecánico Ford 2 en la línea de ensamble Ford 1. Para ello primero debemos determinar, ¿cuál será nuestro nuevo Takt Time a considerar? y analizar si lo podremos cumplir, y/o identificar ¿cuáles son las limitantes que tendríamos que sortear para salir adelante?

Datos:

- Volumen Actuador Ford 1= 350,000 unidades/ año
- Volumen Actuador Ford 2= 250,00 unidades/ año

Tiempo disponible de producción

- Semanas/ año= 52
- Días/ semana= 6
- Turnos/ día= 3
- Horas/ turno= 7.5

Eficiencia

- 95% - Considerando paros inesperados, tiempos de arranque, juntas de staff, mantenimiento, etc.

$$Takt\ time = \frac{52*6*3*7.5*0.95}{350000+250000} * 3600 = 40.01\ s$$

Basados en este nuevo número, tendremos que diseñar y ajustar nuestro nuevo proceso para que cumpla con los requerimientos de ambos programas Ford 1 y Ford 2.

Como vimos en el apartado 2.6.3 de esta investigación, la fase 3 del APQP está centrada en el diseño y desarrollo del proceso, como primer paso debemos generar nuestro nuevo flujo de proceso teniendo en mente ambos diseños y el nuevo valor del *Takt time*, lo más recomendable es generar un archivo único para poder rastrear ambos modelos y no perder de vista sus requerimientos.

5.2.1 Flujo de Proceso- Propuesta

Para nuestro nuevo flujo de proceso los inputs a considerar son:

- Takt time
- BOM
- Método de ensamble de ambos productos
- Características críticas y/ o de seguridad

En pasos anteriores ya calculamos nuestro nuevo *Takt Time* a considerar, que será de 40.01 segundos, por lo que ese será nuestro límite superior. La comparación de las BOM's incluyendo todos los componentes de cada uno de los productos no indican que solo hay diferencia por un componente, en este caso el Actuador Ford 1 cuenta con uno de más y el método de ensamble, por ser productos muy similares realmente no tiene mucha variación. Aunque los productos en sí tienen cambios en cuanto forma, esta no es una limitante que nos obligue a modificar el proceso de ensamble de los componentes, ni su secuencia.

En cuanto a las características críticas y/ o de seguridad, aquí si encontramos diferencias notables. Estas jugaran un papel importante en cuanto al equipo necesario vs el disponible; como el objetivo de esta investigación es maximizar el recurso reutilizando las instalaciones disponibles, se pretende ajustar o abarcar las características del nuevo producto a los recursos actuales. A continuación, se pueden visualizar en la tabla, las características de cada producto a considerar, estas como parte de los requerimientos específicos del cliente.

No.	Característica	Actuador Ford 1	Actuador Ford 2
1	True positions (mm)	70 +/- 0.3	172.7 27.8
2	Travel Attachment A (mm)	11.1 +/- 1.5	83.74 +/- 0.75
3	Travel Attachment B (mm)	11.1 +/- 1.5	50.74 +/- 1
4	Actuator Force (9.5 V)	55 N	78 N
5	Actuator Force (12.6 V)	60 N	85 N
6	Operation time	350 ms	750 ms
7	Baseplate position (mm)	N/A	3 x 7.5 +/- 0.10
8	Rod attachment (mm)	N/A	2 x 9.7 +/- 0.15

Tabla 7. Características críticas de actuadores Ford 1 y Ford 2.

A primera vista se observa que las características funcionales entre actuadores no son similares, mucho menos compartidas, por lo que esto nos obliga a evaluar la viabilidad de usar los mismos dispositivos y maquinaria. Eso lo veremos más adelante, sin embargo, esto nos da un panorama de cómo será nuestro nuevo flujo de proceso.

Flujo de proceso											
Estación:	WP 1	Nombre del proceso: Ensamble de actuador			Tiempo (s)		Ensamble	Inspección	Critica	Ambiental	Transporte
No.	Cantidad	Componente	Act	Ford1	Ford2	●	▲	▲	♻️	⇒	
1	1/1	Carcasa inferior/ Motor	Tomar con mano izquierda carcasa inferior del contenedor, colocar sobre fixture de ensamble y con mano derecha tomar un motor y ensamblarlo sobre la carcasa inferior	3	3						
2	1	Husillo	Tomar husillo con mano derecha	1	1						
3	1	Deslizante	Tomar deslizante con mano izquierda y ensamblar con husillo	3	3	●					
4			Tomar subensamble con mano derecha	1	1						
5	1	Resorte	Tomar con mano izquierda un motor y ensamblar con subensamble de husillo/deslizante	3	3	●					
6			Colocar subensamble de resorte/husillo/deslizante en carcasa inferior	3	3	●					
7			Verificar visualmente que el subensamble quede bien asentado en la carcasa inferior	1	1		▲				
8			Accionar bimanuales para activar engrasado semiautomático de subensamble husillo/ deslizante	3	3				♻️		
9			Verificar visualmente la presencia de tres puntos de grasa sobre el subensamble de husillo/deslizante	1	1		▲				
10	1	Foam	Con mano derecha tomar una pieza de foam de la plantilla y colocarlo sobre el filo de la carcasa inferior		3	●					
11	1	Tapa	Tomar con mano izquierda una tapa y con ayuda de la otra mano enclipsarla con la carcasa inferior	3	3	●					
12			Accionar bimanuales por segunda vez para activar el prensado de tapa semiautomático	3	3						
13			Retirar pieza de fixture de ensamble y verificar visualmente que todas las pestañas de la tapa estén completamente enclipsadas con la carcasa	2	2		▲				
14			Colocar pieza en resbaladilla hacia la siguiente estación	2	2					⇒	
Total				29	32						

Figura 25. Flujo de proceso estación WP 1.













Estación:	WP 3	Nombre del proceso: Verificación de funcionamiento			Tiempo (s)	Ensamble	Inspección	Critica	Ambiental	Transporte
No.	Cantidad	Componente	Act	Ford1						
1			Tomar con mano izquierda un subensamble de la resbaladilla de la estación WP2 y verificar visualmente que el resorte se encuentre completamente enganchado y asentado en la carcasa inferior.	2						
2			Colocar subensamble en el fixture de ensamble y prueba	2						
3	2	Clips	Tomar dos clips, uno con cada mano y ensamblar en carcasa inferior	3						
4			Accionar bimanuales para activar el prensado semiautomático de los clips y verificación de la pieza	8						
5	1	Foam	Mientras se realiza la secuencia de prueba del actuador tomar con mano derecha un foam de la plantilla							
6			Tomar el actuador del fixture de ensamble y prueba. Con mano derecha colocar el foam sobre la zona del motor.	5						
7			Realizar las siguientes inspecciones visuales: -Pestañas completamente eclipsadas -Cubierta plastica completamente asentada -Resorte de palanca de apertura enganchado y asentado sobre carcasa inferior -Clips completamente asentados y sin daños -Foam colocado sin daños	5						
8	1	Etiqueta individual	Tomar etiqueta individual y colocar sobre actuador. Identificar pieza con un punto de color	3						
9			Colocar actuador en caja de empaque	2						
Total				30						

Figura 27. Flujo de proceso estación WP 3.












Flujo de proceso										
Estación:	WP 4	Nombre del proceso: Verificación de funcionamiento			Tiempo (s)	Ensamble	Inspección	Crítica	Ambiental	Transporte
No.	Cantidad	Componente	Act	Ford2						
1			Tomar con mano izquierda un subensamble de la resbaladilla de la estación WP2 y verificar visualmente que el resorte se encuentre completamente enganchado y asentado en la carcasa inferior.	2						
2			Manualmente accionar la palanca de apertura y verificar que regrese a su posición inicial.	2						
3			Colocar subensamble en el fixture de ensamble y prueba	2						
4			Accionar bimanuales para iniciar proceso de prueba de la pieza.	8						
5			Tomar pieza del fixture de prueba y realizar las siguientes inspecciones visuales: -Pestañas completamente eclipsadas -Cubierta plastica completamente asentada -Resorte de palanca de apertura enganchado y asentado sobre carcasa inferior	3						
6	1	Etiqueta individual	Tomar etiqueta individual y colocar sobre actuador. Identificar pieza con un punto de color	3						
7			Colocar actuador en caja de empaque	2						
8										
9										
Total				22						

Figura 28. Flujo de proceso estación WP 4.

Para la estación WP 1 en el nuevo flujo de proceso podemos notar que el proceso permaneció muy similar gracias al diseño de ambos productos. La carcasa inferior, aunque es diferente en forma deberá cumplir con la misma función entre ambos modelos la cual es albergar a los demás componentes del actuador electromecánico, husillo y deslizante mantienen presencia en el producto en forma y función al igual que la tapa que cubre el mecanismo electromecánico para evitar el paso de suciedad y agua. A diferencia del Actuador Ford 1 que lleva el Foam instalado en la parte superior de la tapa y que se coloca al final del proceso en la estación WP 3, para el Actuador Ford 2 el componente Foam, va por dentro del actuador antes de realizar el eclipsado de la tapa, lo que nos obliga a realizar esta actividad en la estación 1 donde prácticamente se hace el ensamblado de todo el conjunto mecánico y eléctrico del funcionamiento del actuador. Aquí se nota una diferencia de tiempo de un modelo respecto al otro por la adición de esta última tarea. En cuanto a las inspecciones visuales podemos observar que no se añade ni elimina ninguna en función de la presencia de los componentes semejantes.

El flujo de proceso de la estación WP 2 permanece igual para ambas modelos de producto, se ensamblan los componentes mecánicos auxiliares del mecanismo como lo son las palancas de apertura y las palancas de accionamiento, no hay diferencia en cantidad de componentes ni variantes en cuanto a la secuencia de ensamble, únicamente cambio en forma de componentes que no limitan el proceso de ensamble actual. Las inspecciones visuales no sufren modificaciones, únicamente se actualizan puntos de inspección.

Para la WP 3 podemos observar que el flujo de proceso permanece igual ya que por las características funcionales de los productos, estas no son similares, aunque el producto desempeña la misma función, la realiza en puntos físicos diferentes. El desarrollar la ingeniería para diseñar e implementar un sistema capaz de absorber ambas versiones hubiera sido muy complicado y costoso, por eso se decide dejar la estación WP 3 funcional únicamente para la versión Ford 1, donde el ensamble de los clips, la prueba funcional del producto y el empaque quedan como actividades a desarrollar en este puesto, así como el colocado de la etiqueta individual de pieza.

En lo que respecta al actuador Ford 2, se decide contemplar una estación de trabajo adicional para llevar a cabo el proceso de prueba funcional del producto y el pegado de etiqueta individual y empaque. Esta llevará por nombre WP 4 y se desarrollará desde cero su diseño y construcción para cumplir con las características críticas y de seguridad que el cliente solicita.

En la gráfica que se muestra podemos visualizar como quedan los tiempos de acuerdo con el proceso propuesto para ambas versiones.

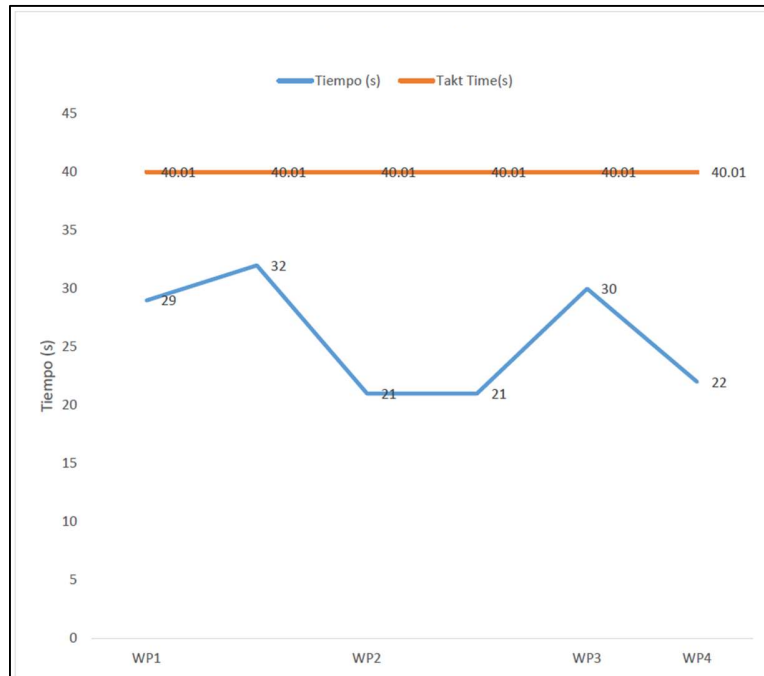


Figura 29. Gráfica de Takt Time calculado.

De acuerdo con la gráfica anterior podemos visualizar que todas las estaciones se encuentran dentro de nuestro *Takt Time* calculado, sin gran diferencia entre operaciones.

Con esto en mente la propuesta de layout será la siguiente:

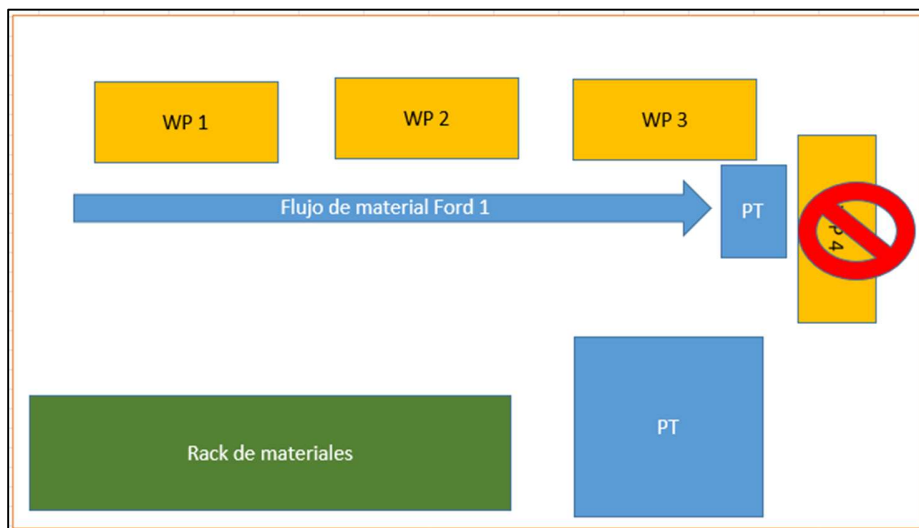


Figura 30. Layout de línea de ensamble para variante Actuador Ford 1.

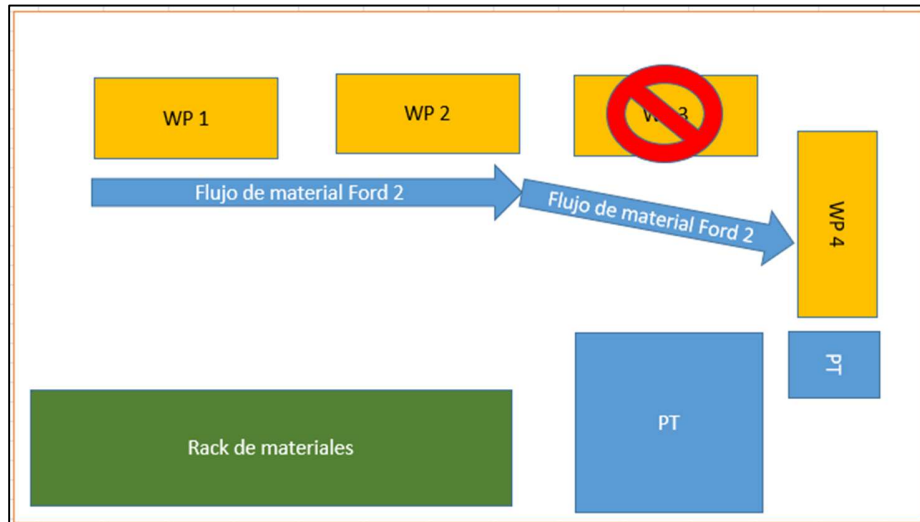


Figura 31. Layout de línea de ensamble para variante Actuator Ford 2.

Para la variante Ford 1 el proceso de ensamble y prueba contempla las estaciones WP 1, WP 2 y WP 3, siendo las dos primeras destinadas puramente a ensamble de componentes y la WP 3 mixta entre ensamble, prueba final del producto y empaque.

En cuanto a la variante Ford 2 el proceso de ensamble y prueba tiene como estaciones en común con Ford1 la estación WP 1 y WP 2, estas específicamente destinadas también a ensamble de componentes y la estación WP 4 como estación de prueba final y empaque del producto.

5.2.2 Equipo, dispositivos de ensamble y prueba

Con el objetivo de lograr el cumplimiento del nuevo flujo de proceso diseñado, procedemos a determinar cuáles serán las modificaciones y cambios necesarios para abarcar ambas variantes de productos. A continuación, se detallarán estas actividades, sistemas a intervenir y propuesta de modificación.

5.2.2.1 Estación WP 1

La estación WP 1 está conformada por un dispositivo de prensado neumático semiautomático, diseñado a partir de un cilindro (1) acoplado a una base de prensado diseñada en una base de aluminio y relieves de Nylamid (4) recayendo sobre un fixture de ensamble y prensado (2) conformado por una placa de aluminio de 1". Esta placa de aluminio tiene pernos guías que sirven tanto para dar orientación a la pieza como para verificar posición y medida de las true positions de la carcasa inferior, adicionalmente esta pieza se desliza sobre una guías mecánicas (3) jaladas y empujadas por un cilindro neumático.

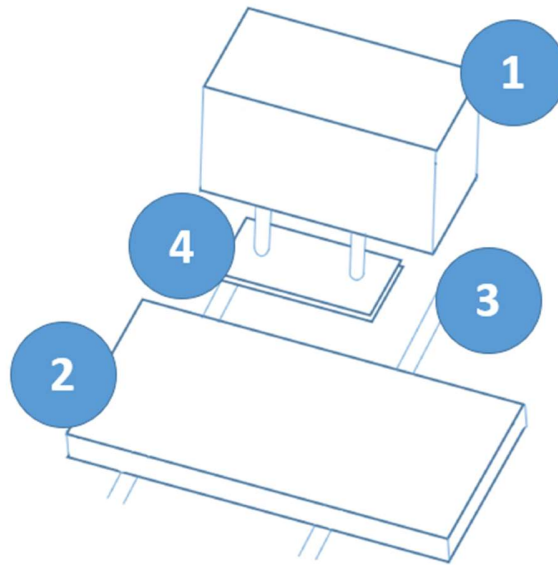


Figura 32. Mecanismo de prensado semiautomático de la estación WP 1.

Con el fin de adaptar este mecanismo con ambas versiones de los actuadores, se decide diseñar y maquinar dos placas diferentes (2), cada una correspondiente a las true positions de cada actuador y con la posición de prensado en común para evitar ajustes de posición y tiempos muertos por mantenimiento. Estas placas tendrán como característica un sistema de cambios rápidos mediante un perno de bloqueo para la sujeción de las placas con la placa base.

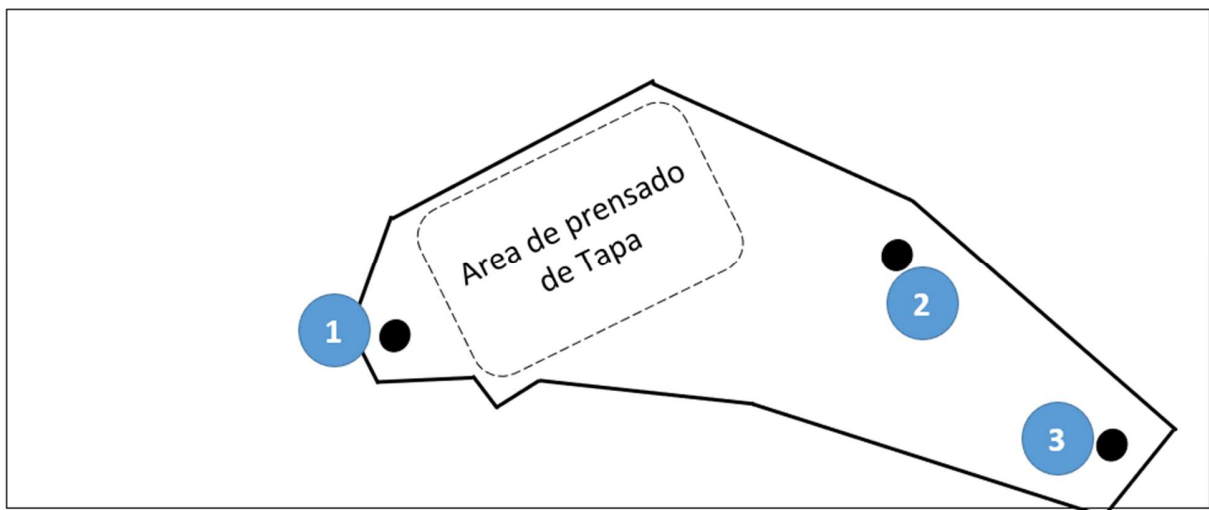


Figura 33. Plantilla para placa de prensado para actuador Ford 1 con true positions numeradas.

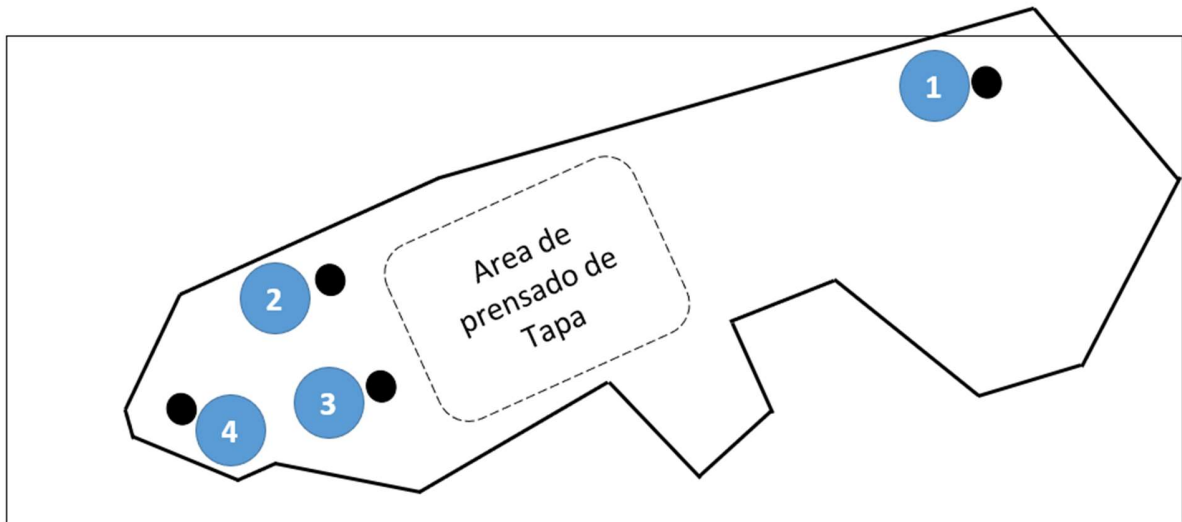


Figura 34. Plantilla para placa de prensado para actuador Ford 2 con true positions numeradas.

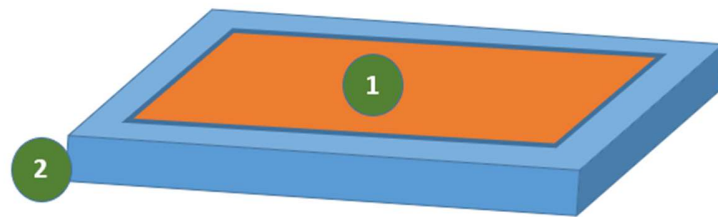


Figura 35. Ilustración Placa base (2) y base de prensado intercambiable entre variantes de actuador (1).



Figura 36. Perno de bloqueo para sujeción de placa base y placa de prensado.

5.2.2.2 Estación WP 2

Segunda estación, está siendo completamente destinada al ensamble manual, se integra de un dispositivo fijo para cada variante, por lo que no hay necesidad de realizar cambios de dispositivo adicionales y su diseño corresponde a las true positions de cada modelo, con esto aseguramos que el operador no se confunda y utilice el incorrecto. Adicionalmente se diseña una herramienta manual para apoyar al operador en el ensamble del resorte del actuador Ford 2 por como parte de la ergonomía para esta actividad.

Para reducir tiempos de diseño se decide reutilizar los diseños de las placas de prensado de la estación WP1.



Figura 37. Herramienta manual para ensamble de resorte de actuador Ford 2.

5.2.2.3 Estación WP 3

Estación de ensamble y prueba destinada únicamente para el actuador modelo Ford 1 se encuentra constituida por un equipo de prueba final o EOL (End of line tester) por sus siglas en inglés, aquí se realizará inicialmente el ensamble de los clips y por último la serie de prueba funcionales al producto para determinar si cumple con los requisitos específicos del cliente o no.

Esta particular maquina incluye sensores capacitivos para detectar tanto la presencia de componentes como el recorrido a partir de dos puntos fijos, para este producto en específico los sensores los utilizamos para detectar el completo asentamiento de los clips en la palanca de apertura mediante la colocación del sensor a cierta altura y el travel de la palanca de apertura mediante dos puntos fijos, la diferencia entre uno y otro deberá ser igual a la especificación del dibujo.



Figura 38. Estación WP 3.

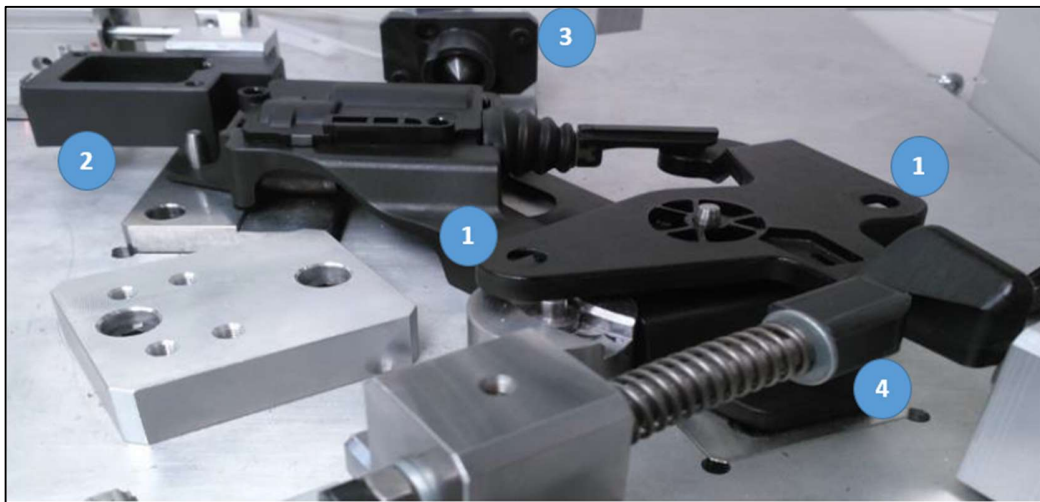


Figura 39. Sistema de prueba de actuador Ford 1.

Componentes del sistema de prueba:

1. Sensores capacitivos: Funcionan como validación de pieza presente para iniciar secuencia y detectar el movimiento de la palanca de apertura y desplazamiento del punto inicial al punto final.
2. Conector eléctrico: manda el pulso eléctrico al motor del actuador, 9.5V y 12.6V son los valores por emplear en la prueba funcional del producto, utilizando 350 ms.
3. Punzón de marcaje: al terminar la prueba funcional y está sea OK, el punzón realizará un leve marcaje en la pieza para su identificación.
4. Resorte de prueba: la palanca de apertura del actuador mediante el pulso eléctrico dado deberá vencer la fuerza del resorte y tener el recorrido completo para que la prueba sea exitosa.

Una vez que la prueba finalice y sea marcada por el punzón, el sistema emitirá una etiqueta individual conteniendo la siguiente información:

- Número serial
- Fecha de manufactura

Esta información es fundamental para tener rastreabilidad de la pieza ante defectos y reclamos por parte del cliente.



Figura 40. Etiqueta individual del producto.

5.2.2.4 Estación WP 4

Última estación del proceso del actuador Ford 2. Al igual que la estación WP3 para el actuador Ford 1 constituye la prueba funcional del producto, donde a partir de un pulso eléctrico el actuador deberá vencer una fuerza ejercida en sentido contrario al movimiento de la palanca de apertura y completar el travel especificado en el dibujo técnico del producto.

Está integrada por:

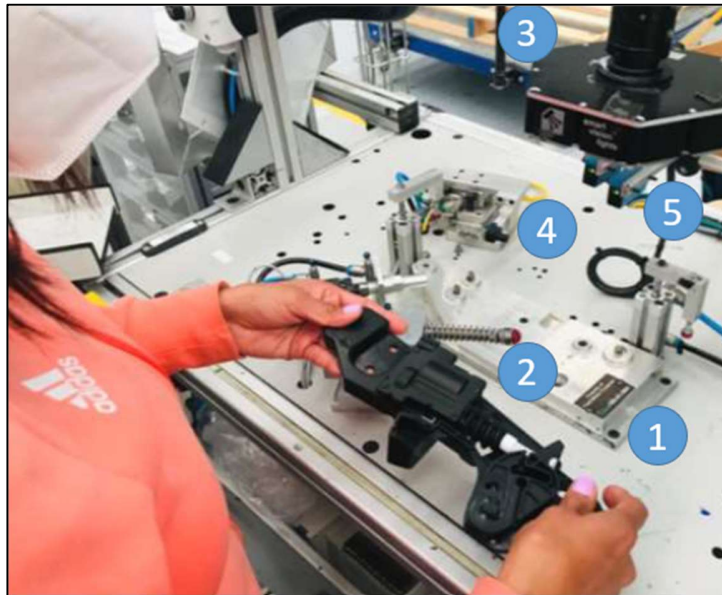


Figura 41. Estación de prueba WP 4.

1. Base
2. Resorte: fuerza a vencer realizando el recorrido previsto en el dibujo técnico del producto.
3. Sistema de visión: realizará la medición con precisión del travel para tener la información en una base de datos como histórico.
4. Conector eléctrico: brindará el impulso eléctrico para que el actuador funcione.
5. Sensores láser: brindará la condición de pieza presente para que el equipo inicie la secuencia de prueba.

Al igual que con el actuador Ford 1, al ser la prueba funcional OK, el sistema imprimirá una etiqueta individual para colocarla en la pieza y sirva para su identificación y rastreabilidad.



Figura 42. Impresión de etiqueta individual para producto.

Cuando el proceso de prueba finaliza ya sea mediante el proceso del actuador Ford 1 (WP 3) o el actuador Ford 2 (WP 4) el operador deberá empaquetar cada pieza hasta llenar la caja de acuerdo con la norma de empaque proporcionada por el departamento de logística.



Figura 43. Empaque retornable para piezas.

5.2.3 PPAP

Por sus siglas en ingles "*Part Production Approval Process*", el Proceso de Aprobación de Piezas Productivas, es una de las llamadas Core Tools, que se utiliza en la cadena de suministro para establecer la confianza de los componentes y procesos de producción de los proveedores hacia los clientes de acuerdo con las especificaciones técnicas. De igual forma ofrece las evidencias de que todos los registros de diseño de ingeniería del cliente y los requerimientos de especificaciones son apropiadamente entendidos por la organización y que el proceso de manufactura tiene el potencial de fabricar productos en forma consistente.

Existen 5 niveles de PPAP y dependiendo de la naturaleza del cambio al producto o proceso, es el nivel que deberá de presentarse al cliente, esto va de la mano con lo establecido en el manual de APQP. No se indagará demasiado en los siguientes puntos, únicamente servirán de referencia para conocer el proceso de aprobación completo ante nuevas implementaciones.

Dentro de los entregables encontramos los siguientes 18 puntos:

1. Registros de diseño. Una copia del dibujo. Si el cliente es responsable de este diseño es una copia del plano del cliente que se envía junto con la orden de compra (PO). Si el proveedor es responsable del diseño es un dibujo publicado en el sistema de liberación del proveedor.
2. Autorización de cambio de ingeniería. Un documento que muestra la descripción detallada del cambio. Por lo general, este documento se denomina "Notificación de cambios de ingeniería"
3. Aprobación de ingeniería. esta aprobación es generalmente el juicio de ingeniería con piezas de producción realizadas en la planta del cliente.
4. DFMEA (AMEF de diseño). una copia del DFMEA análisis y modo de falla de diseño, revisado y firmado por el proveedor y el cliente.
5. Diagrama de flujo de proceso. Una copia del flujo del proceso, indicando todos los pasos y la secuencia en el proceso de fabricación, incluyendo los componentes entrantes.
6. PFMEA (AMEF de proceso). Una copia del FMEA análisis y modo de falla de producción, revisado y firmado por el proveedor y el cliente.
7. Plan de control. Una copia del Plan de control, revisado y firmado por el proveedor y el cliente.

8. Sistema de análisis de medición. Contiene generalmente el estudio R&R de las características críticas, y una confirmación de que los indicadores utilizados para medir estas características son calibrados.
9. Resultados dimensionales. Una lista de todas las dimensiones registradas en el dibujo. Esta lista muestra la característica de producto, la especificación, los resultados de la medición y la evaluación de la muestra si esta dimensión es OK o NOK.
10. Registro de materiales / Pruebas. Un resumen de cada prueba realizada en la parte. Este resumen es por lo general se encuentra en la forma DVP&R (Design Verification Plan and Report), que enumera cada prueba individual, cuando se llevó a cabo, la especificación, los resultados y la evaluación.
11. Estudios iniciales de proceso. Por lo general, esta sección muestra todos los gráficos estadísticos de control de procesos que afectan a las características más importantes del producto.
12. Documentación de laboratorio calificado. Copia de todas las certificaciones del laboratorio donde se realizan las pruebas.
13. Reporte de aprobación de apariencia (si aplica). Una copia de la AAI (aprobación de la Inspección de la apariencia), firmado por el cliente. Aplicable para los componentes que afectan a la apariencia únicamente.
14. Pieza muestra. Una muestra del lote de producción inicial.
15. Pieza maestra. Una muestra firmada por el cliente y el proveedor, que por lo general se utiliza para entrenar a los operadores de las inspecciones.
16. Ayudas de verificación. Cuando hay herramientas especiales para verificar las piezas, esta sección muestra una imagen de los registros de la herramienta y la calibración, incluido el informe dimensional de la herramienta.
17. Requisitos específicos de cliente. Cada cliente puede tener requisitos específicos que se incluyen en el paquete PPAP.
18. Part Submission Warrant (PSW). Este es el formulario que resume todo el paquete PPAP. Este formulario muestra el motivo de la sumisión (cambio de diseño, revalidación anual, etc) y el nivel de los documentos presentados al cliente. Si hay cualquier desviación el proveedor deberá anotarla en el PSW ó informar que el PPAP no puede ser presentado.

Se emiten de forma mandatoria cuando hay:

- Una nueva parte o proceso.
- La corrección de alguna discrepancia en alguna parte emitida anteriormente.
- Modificación al producto como consecuencia de un cambio de ingeniería con respecto al diseño, especificaciones o materiales.

5.2.3 Liberación de línea de ensamble

Como vimos en el tema anterior, el punto 11 del PPAP nos indica la presentación de estudios preliminares de producción. Como entregable se debe demostrar que la línea productiva, así como el proceso diseñado es capaz de cumplir con los tiempos de entrega y la calidad especificada del producto. El proceso de liberación de una línea de ensamble suele consistir en dos partes, una corrida representativa de forma interna antes de realizar el protocolo formal ante el cliente es lo más recomendable, esto con el objetivo de identificar posibles limitaciones, cuellos de botella o tiempos de paro no contemplados en el diseño del proceso.

Ford solicita dos eventos clave en el proceso de liberación y cumplimiento del PPAP, el primero como parte de las preseries donde se considera una corrida de 3 horas consecutivas, se evaluará el proceso productivo y tiempos estimados. El segundo evento consiste en una corrida de serie, en la cual se espera un producto maduro y en fase final de diseño, con componentes último nivel liberados y en punto de uso. La línea de producción deberá cumplir con todo el equipo de prevención y detección de fallas, el personal operativo con la habilidad requerida para llevar el proceso de forma fluida y sin interrupciones. En este evento también se validarán documentos relevantes como el PFMEA y Plan de Control. Cabe señalar que esta última corrida de validación es de larga duración y en ella se tiene que validar el proceso en cada uno de los turnos para los que el proceso fue diseñado.

Para la liberación de estos procesos ambos serán sujetos de validación, ya que ambos fueron modificados, la corrida de validación considerará ambos modelos de actuadores con sus respectivos tiempos de ensamble, inspecciones, validación de características críticas, etc. El PPAP a recibir será el correspondiente a ambas versiones por separado.

6. Conclusión

La industria automotriz es una de las principales generadoras de empleo y derrama económica a nivel mundial, tan sólo en México representa el 3% del PIB nacional³, de las más fuertes y tecnológicas ramas manufactureras y por lo mismo de las más competitivas. La búsqueda de siempre generar el mayor beneficio económico al menor costo es la punta de lanza de cualquier acción en los procesos productivos.

Ford como parte de su plan de expansión e inserción al campo eléctrico de automóviles, en 2019 decidió presentar su modelo Match E, como su producto estrella de esta nueva rama, siendo un automóvil de la gama de SUV's marcaría un antes y después en la historia de la empresa manufacturera automotriz. Lo que años atrás sería una sola idea con vista futurista ahora se materializa con la inserción de este modelo y el objetivo de dominar este segmento automotriz, presentándose como una opción de alta gama tecnológica y sustentable.

Como parte de esta estrategia los mercados internacionales siempre buscan estar en constante evolución, trayendo consigo cambios cada vez más rápidos y repentinos. Lo que promueve una cultura de adaptación constante, -el que no se adapta, muere-. En este sentido, de la mano van los procesos relacionados y toda la cadena de suministro que va tras de ellos. En un mundo donde el consumo marca la tendencia, el ser flexible sigue siendo la opción por destacar.

En el presente documento nos referimos específicamente a un pequeño segmento de todo el proceso manufacturero automotriz, nos referimos a las líneas de producción, aquellas que constituyen el núcleo de todo el producto, donde a partir de procesos formativos y/ o tecnológicos se le agrega valor a de manera individual y en conjunto. En ellas podemos encontrar como se materializa aquello que, siendo únicamente componentes aislados, toman forma en un ser que ahora brinda una función más amplia. Desde los componentes más pequeños como pudieran ser unos tornillos, hasta un conjunto funcional de varios componentes como lo es un panel de instrumentos, que deberán de cumplir en tamaño, forma, color y función los requerimientos específicos de cada cliente y la calidad que con ello lleva.

³ Nota. Adaptado de Perspectiva Industria Automotriz. D. Econosignal, (2020). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2020/Perspectiva-Industria-Automotriz-DEconosignal.pdf

Cuando hablamos de calidad no podemos hacerlo de forma aislada hacia un proceso en específico o un operador en especial, la calidad se hace con cada miembro activo de la organización y con cada maquina y proceso productivo, desde el personal a cargo de transportar la materia prima a tiempo hasta el operador que realiza la última inspección al producto. Por lo que dentro de la ingeniería industrial existen diversas herramientas y metodologías que marcan la pauta de que proceso implementar según las necesidades de nuestro cliente.

El manual del APQP como vimos en el presente documento, detalla paso a paso las etapas de cada proyecto nuevo a realizar, sea producto o proceso productivo, cambio técnico, adición o eliminación de características críticas, nos brinda los entregables que deberán desarrollarse en cada fase, desde el objetivo del proyecto y miembros del equipo hasta la corrida de validación final. Esta metodología nos ayudó a implementar el proyecto del actuador electromecánico Ford 2 en la línea del actuador electromecánico Ford 1. Siguiendo paso a paso las fases del APQP se determinaron los requerimientos para el nuevo proceso productivo y así determinar la factibilidad de modificar la línea de producción para albergar ambos productos.

Como se estableció al inicio de este proyecto, el objetivo fue implementar una línea de producción flexible para ambos productos (actuador electromecánico Ford 1 y Ford 2). Teniendo en cuenta el diseño de ambos actuadores, su lista de componentes, características críticas y funcionales se determinó la factibilidad para su realización. De esta forma la inversión inicial para el desarrollo del nuevo proyecto sería únicamente una fracción de los costos posibles, la reutilización del espacio productivo, herramientas, equipo tecnológico y personal operativo brindaría ahorros considerables para el lanzamiento del proyecto así como maximizaría los recursos disponibles.

La sumatoria de volúmenes individuales de ambos proyectos Ford 1 y Ford 2, arrojó como resultado un *Takt time* menor al original de la línea de producción Ford 1 (68.59 segundos vs 40.01 segundos), lo que significaría que el ritmo de producción debería ser más rápido, esto, respetando las condiciones iniciales de tiempo disponible (semanas, días, turno, horas). Esto no representó una limitante para el proyecto dado que de acuerdo al flujo del proceso diseñado como propuesta, el tiempo mayor por estación fue de 32 segundo para el actuador Ford 2 y 29 segundos para el actuador Ford 1, por lo que incluso tenemos un margen de tiempo para futuras mejoras al proceso o inclusión de nuevas variantes.

En cuanto a los cambios realizados a la línea original para incluir el nuevo actuador Ford 2 al proceso productivo; para las estaciones WP 1 y WP 2 se maquinaron placas bases intercambiables de aluminio de fácil instalación donde el mismo operador puede realizar el cambio de estas cuando el plan de producción lo requiera, esto con el fin de no tener tiempos muertos por falta de personal de mantenimiento para realizar el cambio. La estación WP 3 se determinó que solo funcionaria para la versión Ford 1 por temas de funcionalidad, los puntos de sujeción no coinciden entre diseños y habría sido muy complicado aparte de costoso diseñar una estación de prueba funcional para ambos modelos; dadas estas condiciones, la estación WP 3 no sufrió modificaciones en su equipamiento ni en su flujo de proceso.

La implementación de mayor peso recayó en el diseño de una nueva estación de prueba para el actuador Ford 2, la cual verificaría en su totalidad la pieza, características de diseño críticas y funcionales para ser aceptada por el cliente, el desarrollo de software y aplicación de hardware consistió en una tarea de equipo, entre ingenieros de diseño mecánico, programación e industriales. La estación WP 4 contó con una cámara de verificación, sensores laser y un programa de verificación exclusivamente desarrollado para este producto, así como una base de datos automática para el almacenamiento del histórico de los valores de prueba para cada una de las piezas verificadas.

La verificación del proceso se realizó con éxito siguiendo el protocolo interno de Ford, que consistió en una corrida de 7.5 horas (un turno completo), para cada turno establecido en el tiempo disponible (matutino, vespertino y nocturno), no presentando problemas de calidad ni tiempos muertos durante las mismas.

La línea de producción que alberga ambos modelos arrancó funciones para el actuador Ford 2 para la producción en masa oficialmente en enero de 2020 y tiempo después albergó un incremento en el volumen para su distribución en la región Asia- Pacífico, este proceso sin mayor problema.

Como se pudo observar a lo largo de este proyecto, un buen diseño no es aquel que puede correr sin problemas, ni presentar tropiezos, más bien es aquel que puede ser flexible para absorberlos y no comprometer el proceso en sí y mucho menos afectar al cliente final. El presente demanda soluciones más flexibles y menores tiempos de respuesta, por lo que tener un cierto margen para la acción resulta indispensable.

7. Bibliografía

1. Antona. R. (s.f.). *Qué es PPAP (Production Part Approval Process)*.
<https://www.softexpert.com.es/blog/que-es-ppap-production-part-approval-process/>
2. Cochran, David S. (1999). *The Importance of Takt Time in Manufacturing System Design*. Purdue University Fort Wayne. <https://www.researchgate.net/publication/292556014>
3. D. Econosignal. (2020). *Perspectiva Industria Automotriz*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/finance/2020/Perspectiva-Industria-Automotriz-DEconosignal.pdf>
4. González Martínez, Jaime. (2003). *La producción en serie y la producción flexible: principios, técnicas organizacionales y fundamentos del cambio*. Universidad Autónoma Metropolitana. <http://hdl.handle.net/11191/4502>
5. Kaighobadi, M. & Venkatesh, K. (1994). *Flexible Manufacturing Systems: An Overview*. MCB UP Limited. <https://doi.org/10.1108/01443579410056029>
6. Lixandru, Catalina G. (2016). *Supplier Quality Management for Component Introduction in the Automotive Industry*. Politehnica Univertisty Tamisoara. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.132>
7. López Lozano, Luis G. (2005). *Diseño de línea de manufactura mediante la metodología de flujo por demanda para los productos quick tach y lower link componentes del mini cargador frontal*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<http://eprints.uanl.mx/5588/1/1020154794.PDF>
8. Moreda, Pablo Eduardo. (2020). *Ingeniería de manufactura*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/97916>

9. Operaciones Unitarias KM. (s.f.). *Operaciones de Procesamiento y Operaciones de ensamble*.
<http://operacionesunitariaskm.blogspot.com/p/operaciones-de-procesamiento.html>
10. P. Groover, Mikkel. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas*. Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A.
https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=tcV0l37tUr0C&oi=fnd&pg=PR13&dq=manufactura&ots=7_RBf_gDXz&sig=bxLyHCNz9R-l05ld1YjM7F0hWrU#v=onepage&q=manufactura&f=false
11. Procesos Industriales. (s.f.). *Estrategias de diseño de línea- Parte 2: Líneas I, U, S y L*.
<https://procesosindustriales.net/lean-manufacturing/estrategias-de-diseno-de-linea-parte-2-lineas-i-u-s-y-l/>
12. Rodríguez Aboytes, E. (s.f.). Herramientas centrales: “Core Tools”. Qualixoma, S.A. de C.V.
13. *Sistema de manufactura flexible*. (s.f.). chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7805/capitulo2.pdf
14. SPC Consulting Group. (s.f.). *APQP (Advanced Product Quality Planing) y PPAP (Production Part Approval Process)*. <https://spcgroup.com.mx/apqp-advanced-product-quality-planning-y-ppap-production-parts-approval-process/#1653414301551-19e1cdc5-57bd>
15. SPC Consulting Group. (s.f.). *Bill of Materials- BOM*. <https://spcgroup.com.mx/bom/>
16. Stamatis, D.H. (2001). *Advanced Quality Planning. A commonsense guide to AQP and APQP*. Productivity Press. <https://doi.org/10.4324/9780367807535>
17. Universidad Militar Nueva Granada. (s.f.). *Diagramas en el análisis de proceso*.
http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/ingenieria_industrial/disenio_de_sistemas_de_produccion/unidad_1/medios/documentacion/p6.php

Glosario

1. APQP – Advanced Product Quality Planning (Planeación Avanzada de la Calidad del Producto).
2. EOL Tester- End of line (Probadora de final de línea).
3. Flexibilidad- Capacidad de adaptarse con facilidad a diversas circunstancias.
4. Ford 1 – Producto actuador electromecánico modelo 1 perteneciente al cliente Ford.
5. Ford 2 - Producto actuador electromecánico modelo 2 perteneciente al cliente Ford.
6. ISO – International Standardization Organization.
7. KPI – Key Production Indicator.
8. Layout – Distribución de las formas y elementos de un diseño.
9. Mixed Model Production – Tipo de manufactura que se centra en la combinación de diferentes modelos de producto en una sola línea de producción.
10. PPAP – Production Part Approval Process (Proceso de Aprobación de Partes de Producción).
11. PFMEA – Process Failure Mode and Effect Analysis.
12. QS-9000 – Adaptación del Sistema de Gestión de Calidad ISO-9000 para la industria automotriz.
13. True position – Posición de instalación en auto de la pieza o componente.
14. Travel - Desplazamiento lineal de un componente.