

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



Gestión y arranque de línea de producción de pintado

TESIS QUE PRESENTA

Ing. Fernando David Puerta Jiménez
Asesor: M.M.A. David Arenas Islas

Para obtener el grado de

Maestro en
Manufactura Avanzada

Aguascalientes, Aguascalientes
septiembre, 2022

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



BHX Trim México
Carr. Panamericana Sur
Km.114+354 Int. 38
Parque Industrial FINSA CP 20393
Aguascalientes, Ags. México

21/Febrero/2022

Aguascalientes, Ags.

Mtro. Geovany González Carlos

Coordinador Académico de Posgrado

CIATEQ, A.C.

PRESENTE

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del C. Fernando David Puerta Jiménez, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis/tesina, titulado "Gestión Y Arranque De Línea De Producción De Pintado" autorizo/amos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de Maestría en Manufactura Avanzada.

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


Firma
M.M.A. David Arenas Tzuc
Grado, nombre completo
Asesor Académico


Firma
MBA Héctor Nancel Narguez Sánchez
Grado, nombre completo
Asesor en Planta

CARTA DE LIBERACION



CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



GOBIERNO DE
MÉXICO



Querétaro, Querétaro, 7 de julio del 2022.

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

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del (la) alumno (a) **Fernando David Puerta Jiménez**, cuyo título es:

"GESTIÓN Y ARRANQUE DE LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE PINTADO"

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

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

Atentamente,

Firma

M.M.A. Mario Alejandro Álvarez Pérez



DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

Mi esposa, quien fue la que me brindó su apoyo en las buenas y malas, me alentó a seguir adelante, porque a pesar de las dificultades me apoyo en mis sueños y metas, además de que es la persona que sufrió todo este proceso por no dedicarle el tiempo y dedicación deseado.

A mis hijos que al igual que mi esposa son los que me alentaron a seguir adelante incondicionalmente.

A mi padre que ya no está más en vida, pero siempre me enseñó y me alentó a terminar este proyecto.

A mi madre, que siempre me dio buenos consejos y palabras que me alentaron e hicieron de mí una mejor persona.

Ellos dos siempre me acompañaron en todos mis sueños y metas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco este proyecto a Dios por ser mi guía, acompañarme a lo largo de mi vida, brindarme paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

Así como también a mi amada esposa Rocío por su apoyo y amor incondicional a pesar de todos mis actos sé que siempre me motiva en cada paso que doy a ser cada día mejor.

Agradezco a mi Tutor Hector Marquez que cuando vi por perdido mi proyecto me dio la oportunidad de seguir y alentarme a terminarlo.

A CIATEQ y CONACYT por el apoyo y catedra de todos los involucrados antes y durante la estancia en la Maestría en Manufactura Avanzada.

Sobre todo, a mi Asesor David Arenas que de igual forma nunca perdió la fe en mí y me apoyo hasta el final.

Gracias Padre y Madre (Arturo y Consuelo) por sus pilares de la vida que, aunque sabemos que no siempre se cría como uno quisiera sé que dieron lo mejor de sí y me enseñaron a caminar con mis propios pies.

* * *

RESUMEN

La industria automotriz crea en la actualidad un alza interesante en empleos y esto a su vez conlleva a que inversionistas apuesten a negocios relacionados en este ámbito. Industrias localizadas a una distancia lejana a la planta manufacturera se inclinan por acercarse logísticamente para así tener mayor acercamiento al cliente, esto conlleva cambios de locación, transferencias de línea y en algunas ocasiones y la mejor opción compra de alguna línea de producción y/o maquinaria, lo cual conlleva una gran inversión para la empresa. Por lo tanto, este trabajo se enfoca en dar a conocer cómo gestionar y desarrollar la instalación de una nueva línea de pintura conociendo la ubicación y sus posibles riesgos, además de tener un tiempo limitado comprometido para el arranque de esta, así como una producción ideal establecida por año. Para poder lograr dicha instalación se requiere previa experiencia en trabajos similares y un amplio conocimiento en plantas de pintura para poder aportar ideas innovadoras y así no detener el proceso de la instalación y arranque de la planta. Se usa como medio de metodología el APQP soportando así aún mejor cada uno de los pasos que se deben de llevar para el correcto arranque de dicha línea.

La problemática del presente documento se centra en el arranque de una línea de pintado en el sector automotriz, y el objetivo principal se centra en el arranque y cumplimiento de la producción en un tiempo justo y limitado, para el éxito se hace uso de la metodología *Advanced Product Quality Planning* (APQP) y tomando algunas referencias de la metodología *Production Preparation Process* (3P), el uso de estos conceptos da como resultado la satisfacción del cliente y la empresa.

Palabras clave: Manufactura, APQP, Líneas de producción, Arranque de líneas de producción.

ABSTRACT

The automotive industry is currently creating an interesting rise in jobs, which leads investors to bet on related businesses in this area. Industries located at a distant distance from the manufacturing plant tend to approach logistically to be closer to the customer, this entails changes of location, line transfers and on some occasions and the best option, to buy a new production line and/or machinery, which entails a large investment for the company. Therefore, this work focuses on managing and developing the installation of a new painting line, knowing the location and its possible risks, in addition to having a limited time committed to starting it, as well as an ideal production established per year. To achieve this installation, previous experience in similar jobs and extensive knowledge in paint plants are required to be able to contribute innovative ideas and thus not stop the process of installation and start-up of the plant. The APQP is used as a means of methodology, thus supporting even better each of the steps that must be taken for the correct start of said line.

The problem of this document focuses on the start-up of a painting line in the automotive sector, and the main objective focuses on the start-up and fulfillment of production in a just and limited time, for success the methodology is used Advanced Product Quality Planning (APQP) and taking some references from the Production Preparation Process (3P) methodology, the use of these concepts results in customer and company satisfaction.

Keywords: Manufacturing, APQP, Production lines, Start-up of production lines.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
GLOSARIO	xiv
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. HIPÓTESIS.....	6
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. MANUFACTURA	7
2.1.1. Manufactura flexible	7
2.1.2. Manufactura esbelta	9
2.1.3. Futuro de la manufactura	10
2.2. APQP	10
2.3. PPAP	12
2.4. SIMULACIÓN DE PROCESOS	14
2.4.1. Tipos de software de simulación	15
2.4.2. Etapas de una simulación	16
2.4.3. Ventajas y desventajas de la simulación	21
2.5. LÍNEA DE PRODUCCIÓN	21
2.5.1. Automatización industrial	23
2.5.2. Industria 4.0	23
2.5.3. Robótica.....	24
2.5.4. Necesidades de la línea.....	26

2.5.5. Maquinaria.....	26
2.5.6. Puesta en marcha de la línea	26
2.5.7. Distribución de una línea de producción	27
2.5.8. Uso de fixtures y conveyors en una línea de producción.....	31
2.6. HERRAMIENTAS PARA NUEVOS PROYECTOS	32
2.6.1. Mapeo del flujo de valor	35
2.6.2. Metodología 3P	36
2.7. ALUMINIO EN LA INDUSTRIA	37
2.8. PLÁSTICO EN LA INDUSTRIA.....	38
2.9. PINTURA.....	39
2.9.1. Técnicas de pintado	40
2.9.2. Pintura poliuretano	41
2.9.3. Pretratamiento de pintura.....	42
2.9.3. Horneado de pintura	43
2.10. ESTÁNDARES.....	44
2.10.1. ISO.....	45
2.10.2. SAE	47
2.10.3. TP	48
2.10.4. DIN	49
2.11. LAYOUT.....	49
3. PROCEDIMIENTO.....	51
3.1 PLANEACIÓN	51
3.1.1. Organización del equipo.....	51
3.1.2. Necesidades del proyecto.....	52
3.1.3. Expectativa y requerimiento del cliente	52
3.1.4. Revisión de especificaciones y funcionalidades.....	53
3.1.5. Diagrama de Flujo general.....	54
3.1.6. Características especiales.....	54
3.1.7. Mapeo de proceso	54
3.2 DESARROLLO DEL PRODUCTO.....	54
3.2.1. Especificaciones de ingeniería	55
3.2.2. Especificaciones de materiales	55

3.2.3. Requerimiento de equipo, herramental e instalaciones	55
3.2.4. Requerimiento de equipos de prueba & gauges	55
3.3 DESARROLLO DEL PROCESO	56
3.3.1. Especificación y norma de empaque.....	56
3.3.2. Diagrama de flujo de proceso.....	56
3.3.3. Layout de secuencia de piso.....	56
3.3.4. Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso (PFMEA).....	56
3.3.5. Plan de control de prelanzamiento.....	57
3.3.6. Parámetros de proceso	57
3.4 VALIDACIÓN PRODUCTO-PROCESO	57
3.4.1. Simulación de producción	57
3.4.2. Corrida y pruebas de validación de producción significativa	57
4. RESULTADOS	58
4.1 PLANEACIÓN DEL PRODUCTO	58
4.1.1 Organización del equipo.....	58
4.1.2 Necesidades del proyecto.....	59
4.1.3 Expectativa y requerimiento del cliente	62
4.1.4 Revisión de especificaciones y funcionalidades.....	67
4.1.5 Diagrama de flujo general	74
4.1.6 Características especiales.....	76
4.1.7 Mapeo de proceso	77
4.2 DESARROLLO DEL PRODUCTO.....	78
4.2.1. Especificaciones de ingeniería	78
4.2.2. Especificaciones de materiales	80
4.2.3. Requerimiento de equipos de prueba & gauges	81
4.2.4. Requerimiento para gauges & equipos de prueba.....	82
4.3 DESARROLLO	84
4.3.1. Especificación y norma de empaque.....	84
4.3.2. Diagrama de flujo de proceso.....	85
4.3.3. Layout de secuencia de piso.....	86
4.3.4. Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso (AMEFP).....	86
4.3.5. Plan de control de prelanzamiento.....	87

4.3.6. Parámetros de proceso	89
4.4 VALIDACIÓN DEL PRODUCTO-PROCESO	89
4.4.1. Simulación de producción	89
4.4.2. Corrida y pruebas de validación de producción significativa	93
CONCLUSIONES	102
RECOMENDACIONES	104
APORTACIÓN DE LA TESIS.....	105
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS.....	106
REFERENCIAS.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistemas automatizados.....	8
Figura 2. Representación simbólica del APQP.....	14
Figura 3. Representación simbólica de una simulación.	16
Figura 4. Etapas de simulación.....	17
Figura 5. Tipos de distribución de línea.....	27
Figura 6. Ejemplo de una distribución por producto.....	28
Figura 7. Ejemplo de una distribución por proceso.....	29
Figura 8. Ejemplo de una distribución fija.....	30
Figura 9 . Ejemplo de una distribución celular.	30
Figura 10. Ejemplos de fixtures.....	32
Figura 11. Etapas del proyecto.	32
Figura 12. Interacción entre los procesos del proyecto.....	33
Figura 13. Ocho herramientas más utilizadas en proyectos.....	34
Figura 14. Ejemplo de VSM.	36
Figura 15. Layout propuesto para la línea de pintura.....	50
Figura 16. Flujo de Layout propuesto para la línea de pintura.	50
Figura 17. Organigrama general.	58
Figura 18. Organigrama de Ingeniería.	59
Figura 19. Proceso general de la línea de pintura.	62
Figura 20. Piezas prototipo.....	68
Figura 21. Dibujo DP RH & LH.	71
Figura 22. Dibujo Z-Vent.	71
Figura 23. Dibujo IP.	71
Figura 24. VSM Línea de pintura.....	78
Figura 25. Imagen detallada de cada zona de apariencia.....	79
Figura 26. Checking fixture DP.....	82
Figura 27. Diseño de fixture multifuncional para todos los modelos (DP RH, DP LH, IP, Z-vent).....	83
Figura 28. Fixture para modelo IP y DP LH.	83
Figura 29. Fixture para modelo DP RH.	83

Figura 30. Fixture para modelo IP.....	84
Figura 31. Aprobación y prueba física de los tres fixtures usados en la línea.	84
Figura 32. Norma de empaque de partes.	85
Figura 33. Flujo de entrada y salida de material.	86
Figura 34. Planta de Pintura proceso por proceso cargado en simulador.....	90
Figura 35. Resultados de simulación de la Planta de Pintura en una semana de producción con dos turnos.	93
Figura 36. Defectos principales encontrados durante el arranque, plasmadas en ayudas visuales.....	96
Figura 37. Mesas de inspección de partes con su documentación, HOE, Ayudas visuales y normas de empaque.....	97
Figura 38. Área de entrada y salida de personal, además de entrada y salida de material.	97
Figura 39. Pasillo principal, zona de robots de aplicación y robot de limpieza.....	98
Figura 40. Área de carga y descarga de piezas.....	98
Figura 41. Formato de un turno de producción.	99
Figura 42. Formato Buyoff de la línea de pintura.	99
Figura 43. Foto por la parte exterior de la planta de pintura después de terminada.	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad anual de línea de pintura.	60
Tabla 2. Gantt Fase 1 de línea de pintura / posicionamiento de maquinaria.	64
Tabla 3. Gantt Fase 2 de línea de pintura / Instalación de paneles de color, mamparas de vidrio, conductos de aire.	65
Tabla 4. Gantt Fase 3 de línea de pintura / Instalación tuberías, puertas y ventanas.	66
Tabla 5. Gantt Fase 4 de línea de pintura / Detalles de acabado y puesta en marcha.....	66
Tabla 6. Volumen de producción 2022.	67
Tabla 7. Listado de materiales BOM IP.	69
Tabla 8. Listado de materiales BOM DP RH & LH, con desglose.....	70
Tabla 9. Especificaciones PVT.	73
Tabla 10. Diagrama de flujo DP LH & RH.	75
Tabla 11. Diagrama de flujo IP (subensamble Z-vent).	76
Tabla 12. Requerimientos de apariencia del cliente.	79
Tabla 13. Especificaciones para la pintura en la capa base.....	80
Tabla 14. Especificaciones para la pintura en la capa clear.	80
Tabla 15. Equipos por proceso.	81
Tabla 16. Diagrama de flujo etapa por etapa línea de pintura.	85
Tabla 17. Fragmento del PFMEA Línea de pintura.	87
Tabla 18. Fragmento del CP Línea de pintura.	88
Tabla 19. Parámetros primordiales iniciales de la línea de pintura.....	89
Tabla 20. Resultados de simulación de la línea de pintura.	92
Tabla 21. Comparativo hipótesis, simulación y real.	94

GLOSARIO

3P: Production, Preparation, Process. Proceso de preparación de la producción.

APQP: *Advanced Product Quality Planning*, Planificación Avanzada de la Calidad del Producto.

FlexSim: Paquete de software de simulación de eventos discretos.

ISO: *International Organization for Standardization*, organismo internacional de estandarización.

PPAP: *Production Part Approval Process*, validación del producto y el proceso.

SAE: *Society of Automotive Engineers*, asociación mundial de ingenieros.

Simulación: Es la representación de un proceso o fenómeno mediante otros más simples, que permite analizar sus características.

TP: Estándares del cliente establecidos que deben cumplirse acorde a ciertos requerimientos.

VSM: Value Stream Mapping, mapeo del flujo de valor.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La industria automotriz es considerada uno de los pilares en crecimiento en el país y actualmente podemos decir que estas industrias son maduras, dinámicas y están en continuo crecimiento. La producción de vehículos ligeros de la industria automotriz de México en el 2011 se recuperó y alcanzó un récord histórico con 3 millones de vehículos producidos (Automotivemeetings, 2021).

En el último mes del 2020 se han anunciado en el país diversos planes de inversión de empresas relacionadas con la industria automotriz, aplicando en los estados de Sonora, Guanajuato, Nuevo León y no se podría quedar atrás Aguascalientes.

Se sabe que México ha avanzado demasiadas posiciones a nivel global como productor, dejando atrás a muchos países de primer mundo. Si México continua con esta enorme racha, en el 2023 estaría sobrepasando a Alemania en producción de autopartes.

Según el sitio Metalmeccanica, en Norteamérica, México es el segundo lugar de producción de automóviles y Estados Unidos se encuentra en la cabeza con una producción de 245 mil millones de autos, mientras que el tercer lugar lo toma Canadá con 30 mil millones de autos (Metalmeccanica, 2021).

Una de las oportunidades acerca de estos logros es la guerra comercial existente entre China y Estados Unidos la cual hace que los productos fabricados por China se provean en otros países debido al costo y que México tenga la oportunidad de ofrecer sus autopartes y manufactura en USA.

Sabemos que la industria manufacturera se ha logrado mantener a pesar de la pandemia COVID-19 y no por esto la inversión extranjera ha cesado, al contrario, se espera que esta siga creciendo y en el futuro llegue a niveles inigualables. En el año 2020 y en lo que va de este 2021 muchas empresas tuvieron que parar parcialmente y/o suspender algunos proyectos, pero en la actualidad han ido retomando dichos proyectos e inversiones sabiendo sobrellevar esta crisis sanitaria.

Otro tema que involucró bastante en el 2020 a la industria fue el tema "Tratado de libre comercio de América del Norte o TLCAN" ya que debido a este se detuvieron

muchas negociaciones, pero después de cerrar los términos y condiciones, México se siguió viendo beneficiado por estar mejor posicionado para atraer operaciones de manufactura.

En 2021 llega a Aguascalientes un nuevo proyecto de fabricación de partes mundial en superficies innovadoras para interiores y molduras de automóviles utilizando una cartera diversa de materiales lujosos, que incluyen hermosas superficies de madera, metales modernos y sintéticos versátiles. Dicha empresa cuenta con plantas en Europa, Asia y América del Norte y en la actualidad se utiliza un outsourcing para la parte de pintado.

Para la fabricación en Aguascalientes se deberá instalar toda una nave industrial y dentro de ella existirían diferentes procesos para el armado de 4 modelos diferentes (Door Panel Izquierdo, Door panel derecho, IP Main, Z-vent), los procesos serán mudados de una empresa hermana y/o algunos serán de nueva adquisición para dicha instalación y arranque en Aguascalientes. La parte de Pintado será un proceso totalmente diferente y nuevo ya que el flujo y control de cada uno de los preprocesos y postprocesos se realizaban en plantas diferentes por lo cual en conclusión se estarían fusionando estos pre y post procesos para así lograr una línea sofisticada realizando el producto desde la materia prima hasta el acabado final.

Toda el área de pintura estará aislada por una pared a prueba de polvo, y la pared de aislamiento debe dejarse con puertas logísticas para el acceso a ella. El proyecto requiere que la parte constructora cumpla con los estándares y regulaciones nacionales durante todo el ciclo de vida del proyecto en el diseño y construcción de este.

El proyecto debe estar orientado a dar flexibilidad y productividad a nuestro cliente, debe ser flexible a los cambios de demanda, optimizar el uso de herramientas, generar productividad, cumplir con los tiempos de entrega del producto terminado, mantener firme el propósito de tener cero defectos de calidad resultando en la satisfacción del cliente y manteniendo las ganancias monetarias en niveles óptimos de la empresa.

Los principios de diseño de este proyecto requieren seguridad, confiabilidad, ahorro de energía y medio ambiente, protección, control automático, operación y

mantenimiento convenientes, excelente apariencia y clara distribución de logística, procesos y personal.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Las empresas manufactureras que realizan traspasos y benchmarking a nuestro país México ya no solo realizan el movimiento en horizontal si no que buscan poder lograr un crecimiento e innovación continuamente a sus procesos ya existentes. En la actualidad ya no basta con implementar las mejores prácticas de negocios o reducir los costos. En ocasiones es necesario automatizar y/o usar herramientas de mejora como es el caso de este proyecto de investigación para así poder tener empresas exitosas y competitivas.

Una de las metodologías más efectivas e iniciales a realizar para culturizar la organización es la de las 5s (Jordi Lorente J. & Jaume Aldavert, 2016).

Para iniciar una labor de arranque de línea se deberán considerar los aspectos:

- a) Necesidad. Evaluar la necesidad del cliente.
- b) Esquematizar actividades. Organizar cada una de las actividades para lograr un resultado satisfactorio a la conclusión del proyecto.
- c) Requisitos técnicos de la maquinaria. Tener en cuenta cada uno de los requisitos de la maquinaria para cumplir con las especificaciones del cliente.
- d) Adaptación de la maquinaria. Si se cuenta con alguna maquina adaptarla al nuevo proyecto de tal manera que sea capaz y cumpla con las especificaciones.
- e) Puesta en marcha.

En base a la evaluación y el resultado del proyecto se buscará generar una mejora significativa al proceso generando gastos precisos y concisos dando un beneficio considerable a la empresa.

Se debe demostrar que los beneficios de esta línea serán amplios y complejos tales como tener la capacidad de cambiar 4 modelos dentro de la misma línea usando un mismo fixture y demostrando con estudios que el desenlace tendrá efectos positivos sobre la productividad.

Es en el proceso de ejecución del ciclo de vida del proyecto en donde se presentan la mayoría de los cambios. Si los cambios son inapropiados y ordenados por fuentes no autorizadas, terminan por modificar el alcance del proyecto, resultado de una toma inadecuada de decisiones (Burneo-Valarezo, Delgado Víctore, & Antonia Vérez, 2016).

Preguntas de investigación

- a) ¿Cuáles y como serán las técnicas de medición de resultados en la empresa?
- b) ¿En cuánto tiempo se deberá terminar el proyecto de investigación?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Derivado a la asignación como proveedor principal de un cliente automotriz eléctrico de presencia global y con fabricación de vehículos a su planta de EE. UU., y como parte del requerimiento específico de las partes es necesario la adquisición de una línea de pintura base de solventes con posibilidad de cambios de modelo y que cumpla con el volumen contractual del cliente.

Esta justificación está basada en la necesidad de productividad y eficiencia en la operación de pintado dentro de la empresa.

Si no se cuenta con una adecuada planeación del proyecto se puede incurrir en graves problemas tales como: tiempo extra, tiempos muertos, problemas de calidad, entregas fuera de tiempo.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Tener en marcha una línea de producción de pintado de aluminio automatizada usando celdas robóticas capaz de producir más de 10000 car sets por semana.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Conceptualizar y desarrollar la línea de pintado.
 - a. Llegada de equipos.
 - i. 1st batch – *30 agosto 2021.*
 - ii. 2nd batch – *20 septiembre 2021.*
 - iii. 3rd batch – *18 octubre 2021.*
 - iv. 4th batch – *04 noviembre 2021.*
 - b. Instalación de línea.
 - i. 1st batch – *23 octubre 2021.*
 - ii. 2nd batch – *06 noviembre 2021.*
 - iii. 3rd batch - *04 diciembre 2021.*
 - iv. 4th batch – *18 diciembre 2021.*
 - c. Llegada de personal de proveedor. – *23 octubre 2021.*
 - d. Capacitación de seguridad al personal del proveedor. - *09 noviembre 2021.*
 - e. Pruebas iniciales. - *noviembre y diciembre 2021.*
 - f. Liberación de equipos. – *semana 1 de enero 2022.*
 - g. Arranque de línea. - *semana 3 de enero 2022.*
- b) Validación de proceso y liberación del ensamble pintado “Door Panel Izquierdo (DP LH) + Door Panel Derecho (DP RH)”.
 - a. Puesta a punto.
 - b. Documentación (DF, HOE, AV, CP, AMEF).
 - c. Aprobación de apariencia.
 - d. Run and rate report.
- c) Validación de proceso y liberación del ensamble pintado “Instrumental Panel (IP)”.
 - a. Puesta a punto.
 - b. Documentación (DF, HOE, AV, CP, AMEF).
 - c. Aprobación de apariencia.
 - d. Run and rate report.

- d) Validación de proceso y liberación del ensamble pintado "Z-vent Panel".
 - a. Puesta a punto.
 - b. Documentación (DF, HOE, AV, CP, AMEF).
 - c. Aprobación de apariencia.
 - d. Run and rate report.
- e) Start of Production (SOP) - 01 de Febrero de 2021.

Las validaciones y liberaciones de cada etapa se estarán evaluando contra un PPAP y contra la fase del APQP "*Product and process validation*".

1.5. HIPÓTESIS

H1. Es posible manufacturar 4 modelos de subensambles (IP, DP RH, DP LH & Z-VENT) de un automóvil en una línea de producción de pintado en menos de 6 meses (*agosto-2021 a enero-2022*) garantizando la calidad del producto y produciendo 10000 car sets por semana.

H2. Es posible instalar, cargar parámetros y validar una línea de producción de pintado para partes decorativas de interiores automotrices para los modelos IP, DP RH, DP LH & Z-VENT en 4 meses (*octubre-2021 a enero-2022*).

H3. Es posible utilizar un solo diseño de fixture para 4 modelos de subensamble (IP, DP RH, DP LH & Z-VENT).

H4. Evaluar antes de usar una herramienta, ¿Definirá el mejor proyecto?

H5. El uso de herramientas Lean, ¿Hará más competitiva la empresa?

H6. El uso de herramientas Lean, ¿Mejorará los indicadores de calidad, productividad y servicio?

2. MARCO TEÓRICO

La información bibliográfica necesaria para este proyecto de investigación va relacionada a la eficiencia, productividad, métodos de mejoramiento de calidad, entre otros, pero todo enfocado al área de manufactura y en este caso al arranque de una línea de producción de pintado.

El presente trabajo analiza y evalúa la instalación y arranque de la línea de pintado en un tiempo ya establecido cumpliendo con todos los indicadores de productividad y eficiencia. En ese sentido, se aclaran los métodos utilizados para la evaluación. En segundo término, se abordará la mejora que beneficiará a la empresa después de las pruebas iniciales y sobre ella poder realizar un proyecto de mejora usando herramientas Lean.

Debido a que el análisis de este proyecto se concentrará en la puesta a punto y arranque de la línea de pintado de partes automotrices, la estructura del proyecto será abordado hacia los métodos, herramientas y sistemas de mejora continua a usar para cumplir en tiempo y forma dicha instalación, será necesario plantear algunos métodos Lean para poder interpretar los resultados.

2.1. MANUFACTURA

La manufactura proveniente del latín (manus –mano) y de factus (hacer), surgió como una técnica en sí y nació en Roma, está enfocada en la producción en masa y en esos tiempos era dirigida a la producción de textiles, cerámica, vidrio, minería y metalurgia (Ortiz Prado, Ruiz Cervantes, & Ortiz Valera, 2013).

2.1.1. Manufactura flexible

La manufactura flexible es integrada por máquinas-herramientas las cuales son enlazadas mediante un sistema automatizado de manejo de materiales con tecnología convencional, cotidianamente automatizados por un CNC (control numérico por computador).

Los sistemas de manufactura flexible cuentan con sistemas de manejo de materiales automatizado, este a su vez transporta piezas de una máquina a otra hacia dentro y fuera de un sistema. Un ejemplo podría ser los vehículos guiados automáticamente (AGV) que son conducidos por un sistema transportador y por lo general se intercambian de plataforma con las máquinas.

Los sistemas de manufactura flexible generalmente permiten la flexibilidad productiva, gestión en tiempo real y un acelerado nivel de automatización en general.

Distribuir correctamente un sistema de manufactura flexible conlleva creación, organización, programación y las estrategias de control para operar el sistema. Las necesidades y las especificaciones del diseño pueden cambiar, lo cual ocasiona que los diseños iniciales del sistema de manufactura flexible varíen mucho (Aquilano, 2018).

En la Figura 1, se observa una línea de tiempo del cómo se llegó a la Manufactura flexible a través de una administración, control y por medio de los sistemas automatizados. Aplicar esto a este proyecto y a una línea de producción reduciría cualquier riesgo e impacto a la calidad del producto y/o parte producida.

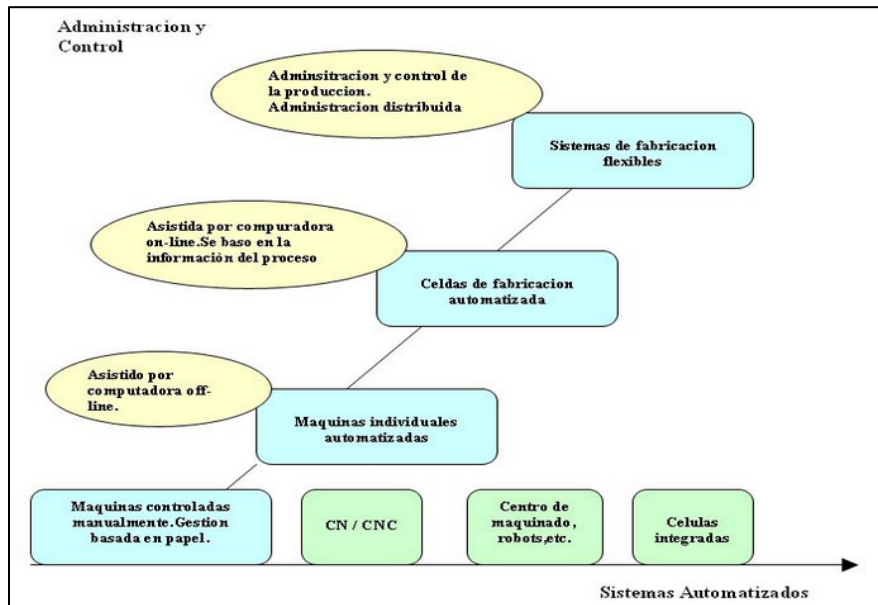


Figura 1. Sistemas automatizados (Aquilano, 2018).

2.1.2. Manufactura esbelta

Es en Japón, por mentores del sistema de producción Toyota donde nace la manufactura esbelta. Definiéndose, así como una filosofía de excelencia de manufactura, basándose en:

- a) Eliminación de desperdicios.
- b) Respeto al trabajador.
- c) Mejora constante de la productividad y la calidad.

El actual mercado exige bajo costo, cantidad completa, calidad más alta y entregas rápidas, por lo cual la manufactura esbelta proporciona a este proyecto herramientas para sobrevivir a esta gran demanda.

La manufactura esbelta, reduce:

- a) Los desperdicios.
- b) Inventario.
- c) Espacio en el piso de producción.

Y crea:

- d) Sistemas de producción robustos.
- e) Sistemas de entrega de materiales apropiados.
- f) Distribuciones de planta adecuadas para aumentar la flexibilidad.

Para lograr éxito en nuestro proyecto los criterios para Implementar una estrategia de manufactura son:

- a) Coordinación entre departamentos.
- b) Producción contra demanda y adaptación a los cambios.
- c) Tener acuerdos a largo plazo con proveedores.
- d) Estudiar continuamente los procesos.
- e) Formación continua (Ngenima, 2021).

2.1.3. Futuro de la manufactura

La pandemia de COVID-19 dejó un impacto sin precedentes en nuestras economías, afectando virtualmente a todas las industrias y dejando sin trabajo a millones de personas en todo el mundo. En el sector manufacturero, la presión, la escasez, los bloqueos y la interrupción general causada por la pandemia y las directrices implementadas por los funcionarios gubernamentales y de salud en todo el mundo han obligado a las empresas a ajustar sus operaciones y adaptar sus líneas de producción. El brote de virus ha dado lugar a muchos estudios en diversas disciplinas, incluida la manufactura.

Un estudio reciente encontró que más del 90 por ciento de las empresas manufactureras planean enfocarse en la resiliencia (capacidad de una organización para adaptarse y funcionar en un nivel de desempeño deseado incluso en presencia de interrupciones y adversidades como una pandemia) e invertir fuertemente en la transformación digital en un futuro cercano. Sin embargo, la complejidad y singularidad de realizar esto hacen que el camino hacia la empresa digital sea traicionero para los fabricantes. Aunque la mayoría de las empresas conocen las tecnologías actuales, muchas nunca los ejecutan al 100% ya que las empresas en algunos casos toman decisiones y adoptan nuevas tecnologías simplemente como una medida de prevención, por temor a quedarse atrás de sus competidores.

La necesidad de la transformación digital se hizo aún más evidente durante la reciente crisis del COVID-19. De hecho, la pandemia ha llevado a más industrias a acelerar sus iniciativas de transformación digital, incluida la automatización, la conectividad, el análisis de datos y las tecnologías avanzadas de comunicación y fabricación, preparándose así para las crisis futuras que puedan surgir (Jones, 2021).

2.2. APQP

Abreviatura de Planificación Avanzada de la Calidad del Producto (*Advanced Product Quality Planning*).

A finales de los años 80, los principales actores de la industria automotriz utilizaban los programas APQP. General Motors, Ford y Chrysler tuvieron una implementación

de APQP y vieron la necesidad de unirse para crear un núcleo común de principios de planificación de la calidad del producto para los proveedores. Debido a que las cadenas de suministro son importantes en la fabricación de automóviles, en su tiempo la intención del APQP era asegurarse de que los socios proveedores cumplieran con los requisitos de calidad del cliente para cada componente suministrado.

Las pautas se establecieron a principios de los años 90 para garantizar que se siguieran los protocolos APQP en un formato estandarizado. Desde entonces, APQP ha ganado impulso y ha despertado el interés de los fabricantes de muchas industrias (Mallen, 2019).

El APQP la mayoría de las veces se utiliza para la administración de proyectos y nuevos productos como es el caso de este proyecto. Esta metodología facilita la comunicación entre todos los departamentos tanto como los trabajadores internos como los clientes y/o proveedores a la hora de realizar proyectos. Se sugiere realizar esta metodología en cinco fases cada fase tiene una salida o entregable y esta funciona como el ingreso a la siguiente fase. Las cinco fases son:

- 1) Planeación.** En esta fase se entienden las necesidades del cliente, las cuales incluyen un plan de calidad de la empresa. En esta fase las salidas son un listado de materiales preliminar, las metas de diseño y un preliminar del diagrama de flujo.
- 2) Desarrollo y Diseño del Producto.** En esta fase se desarrollan todas las características del diseño a su forma final, para así poder realizar un análisis de factibilidad de manera preliminar el cual sirve para evaluar todos los problemas potenciales durante la manufactura. En esta fase las salidas son el AMEF de Diseño (DFMEA), los diseños de fabricación y ensamble, así como su revisión de estos, la construcción de prototipos, plan de control preliminar, entre otros.
- 3) Desarrollo y Diseño del Proceso.** Esta fase es reconocida por manufacturar productos de calidad. En esta fase las salidas son Plan de Control de prelanzamiento, el diagrama de flujo de proceso, AMEF de Proceso (PFMEA), Layout, Instrucciones de trabajo, entre otros.

- 4) Validación del Proceso y del Producto.** En esta fase se valida el proceso por medio de una corrida controlada y en ella se identifican los puntos que requieran investigación y/o alguna modificación antes de la corrida de producción masiva. En esta fase nuestras salidas son, las corridas iniciales de producción, estudios de capacidad, evaluar el sistema de medición, buscar la aprobación de partes para la producción (PPAP), la evaluación del empaque, del producto y el Plan de control final.

- 5) Acciones correctivas, evaluación y retroalimentación.** Esta fase evalúa la calidad del producto y analiza el proceso de manufactura involucrando todas sus variantes. Para esta fase las salidas son la satisfacción del cliente, no variación del proceso, uso efectivo de lecciones aprendidas y un buen servicio al cliente (Rodríguez J. , 2021).

2.3. PPAP

En el APQP la cuarta etapa nos sugiere hacer una corrida de producción validando la calidad y capacidad del producto y del proceso en condiciones reales usando 300 partes consecutivas o ocho horas de producción real usando los herramentales y la parte operativa que trabajará en la línea, también es aceptable que trabaje personal siempre y cuando cuente con el nivel de conocimientos.

La corrida de producción es comúnmente conocida como corrida de PPAP (*Production Part Approval Process*), también es conocida como *run at rate*, al final del día el objetivo de este es validar el producto y el proceso confirmando si el proceso produce productos de alta calidad y cumple con el volumen esperado. Finalmente, un PPAP es mostrado a los clientes y a la organización, demostrando que el proceso es capaz de producir constantemente los requerimientos de una corrida de producción con respecto a una demanda.

En la corrida de PPAP tenemos la oportunidad de corregir cualquier suceso y así con esto se garantiza que un proceso sea confiable y se pueda producir de manera consistente.

Los 18 documentados esenciales en un PPAP son:

- 1) Diseño. Con el sabemos y conoceremos la parte a producir.
- 2) Cambios de ingeniería. Si algún diseño sufrió algún cambio.
- 3) Aprobación de ingeniería de cliente. Validación de apariencia del color a pintar.
- 4) AMEF de Diseño. Riesgos hacia el usuario final en la parte del diseño.
- 5) Diagrama de Flujo de Proceso. Conocimiento de cada uno de los procesos para elaborar la parte.
- 6) AMEF de Proceso. Análisis de riesgo en cada uno de los procesos y enlazados directamente al usuario final.
- 7) Plan de Control. Parámetros importantes dentro del proceso.
- 8) Estudios MSA. Garantía de repetibilidad y factibilidad del proceso y los equipos de medición.
- 9) Resultados dimensionales. Garantía en cada una de las cotas críticas de la parte.
- 10) Resultados de pruebas de materiales/desempeño. Garantizar la calidad de la parte.
- 11) Estudios iniciales de proceso. Garantizar el proceso en producción masiva.
- 12) Documentación de Laboratorio Calificado.
- 13) Reporte de Aprobación de Apariencia (AAR).
- 14) Muestras de partes de producción.
- 15) Muestra Máster.
- 16) Ayudas para verificación. Elaboración de másteres internos.
- 17) Requerimientos del cliente. Cumplimiento a cada uno de los requerimientos del cliente.
- 18) Certificado de Emisión de Partes (PSW) (Rodríguez J. , 2021)

En la Figura 2, se observa una representación gráfica del APQP y algunos de sus requisitos más importantes del PPAP que se quieren cumplir durante el proyecto.



Figura 2. Representación simbólica del APQP.
(Rodríguez J. , 2021)

2.4. SIMULACIÓN DE PROCESOS

La palabra “simulación” es definida como “la imitación de la operación de un proceso o sistema del mundo real a lo largo del tiempo”. Explicando la definición dada, entendemos el por qué la simulación es importante en las organizaciones. Copiar y/o imitar un proceso o sistema del mundo real logra que los expertos puedan estudiar el proceso o sistema dentro de un ambiente controlado y repetible (Scanlan, 2021).

La complejidad de los productos y procesos de manufactura representa a las compañías retos relacionados al mercado y la optimización de activos. Siempre se espera que la ingeniería posibilite lanzamientos de nuevos productos sin fallos apegándose a las metas de costo y calidad. Para poder alcanzar esas metas, los fabricantes principales aprovechan la disponibilidad de modelos 3D de productos y recursos para validar virtualmente y por adelantado sus procesos de manufactura. Con esta nueva tecnología en evolución, podemos conducir miles de experimentos de validación de forma eficiente y casi automática asegurando la optimización de producción desde un inicio (Simulate, Siemens Tecnomatix Process, 2021).

En la actualidad se requieren de procesos eficientes en la industria por lo cual las compañías necesitan asegurar los costos asociados con tiempo, equipo y otras inversiones. La simulación de manufactura es considerada una vía barata y libre de riesgo para probar cualquier cosa con el propósito de alcanzar metas de producciones al menor costo posible. La simulación permite también probar e implementar principios de Lean Manufacturing y Six Sigma ofreciendo un método rápido y eficiente para ajustar parámetros y obtener mejores resultados (FlexSim software products, Inc., 2022).

2.4.1. Tipos de software de simulación

En la actualidad existen una variedad de softwares de simulación de eventos discretos, los más comúnmente usados son (ordenados del menos usado al más usado en la actualidad):

- a) **WINQSB.** Es una herramienta que facilita mucho la labor en la toma de decisiones de empresas. Este software se divide en una serie de módulos ayudando a los distintos tipos de tomas de decisiones. Se pueden resolver problemas lineales de objetivos definidos, decisión de análisis, e incluso modelos ocultos de Márkov. No importa la necesidad a nivel de toma de decisiones en grupos de trabajo o pequeñas y medianas empresas. El software cuenta con una interfaz cómoda (Uptodown, 2011).
- b) **ARENA.** Este software de simulación utiliza un método de eventos discretos para la mayoría de las simulaciones y cubre áreas de modelado basado en agentes y de flujo (Automation, Rockwell, 2021).
- c) **DELMIA.** Este software establece conexiones entre el mundo virtual y el real de las redes de valor con fines de colaboración, modelado, optimización y realización de operaciones. También aprovecha las capacidades del mundo virtual del modelado y la simulación en el mundo real de las operaciones. Realiza soluciones completas a las partes interesadas de la red de valor: como proveedores, fabricantes y suministradores de logística y transporte hasta operadores de servicio y personal (Systèmes, Dassault, 2017).

- d) PROMODEL.** Es un software de simulación de eventos discretos que se utiliza para planificar, diseñar y mejorar la fabricación, la logística y otros sistemas operativos nuevos o existentes. Representa precisión y realiza análisis predictivos sobre posibles cambios (Promodel, 2021).
- e) FLEXSIM.** Es un software que cuenta con todos los beneficios comprobados de simulaciones de eventos discretos y con unos gráficos 3D altamente inmersivos y reales, por lo tanto, es más fácil de ver y entender que está pasando. El lenguaje de FlexSim es mediante Flex Script similar a C, el cual permite escribir expresiones simples que pueden hacer cosas increíbles. Este software será el usado durante todo el proyecto (Products, FlexSim Software, 2019).

En la siguiente Figura 3, se observa como el software desarrolla la simulación de un proceso.

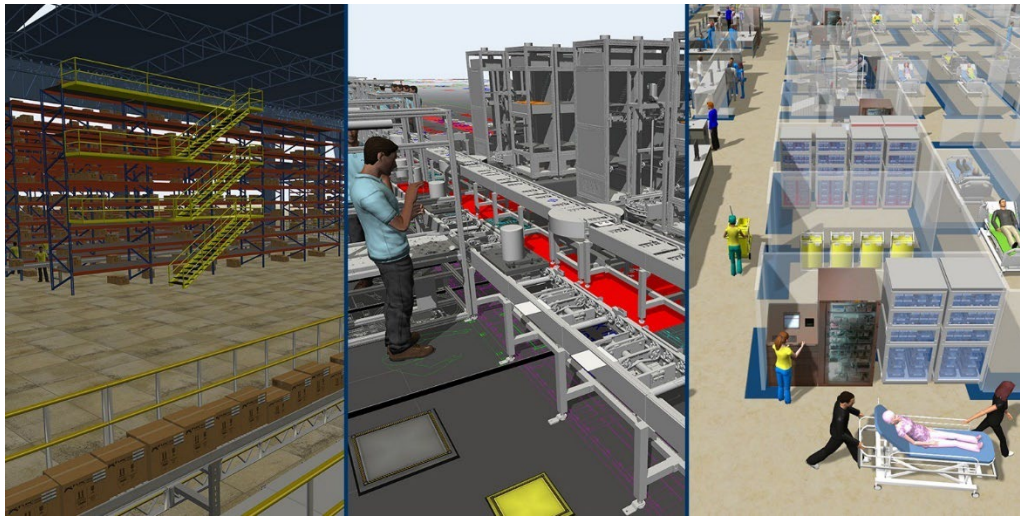


Figura 3. Representación simbólica de una simulación.
(FlexSim, 2021)

2.4.2. Etapas de una simulación

En la actualidad no existe ningún estudio de simulación el cual contenga una fórmula preestablecida, pero el software FlexSim describe pasos a seguir en un estudio de simulación retroalimentado de varias bibliografías. Dado esto, la Figura 4, describe la secuencia de pasos a seguir en la elaboración de un modelo de simulación, además de la realización de experimentos.

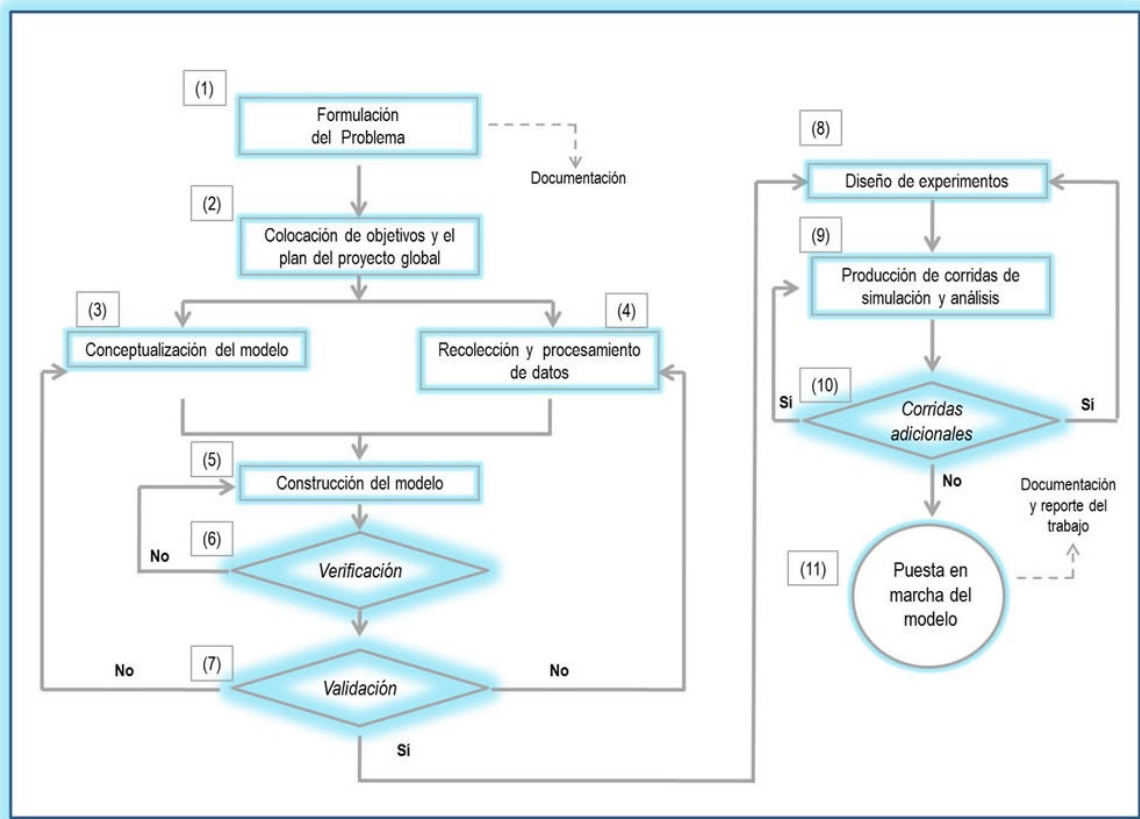


Figura 4. Etapas de simulación.

(Simón Marmolejo, Granillo Macías, & Santana Robles, 2014)

a) Formulación del problema

Se deben definir los objetivos del proyecto de simulación, así como los componentes y elementos del sistema, las variables, la interacción y la comunicación, además establece alcances y limitaciones. Para poder lograr esto se recomienda realizar una observación directa, realizar entrevistas al personal involucrado en el proyecto y usar todas las fuentes de información posibles. Realizando dichas técnicas podemos obtener los conocimientos necesarios.

b) Objetivos y plan del proyecto

En esta etapa se realizan una serie de preguntas respondidas mediante la simulación y basadas en los objetivos con el nivel de detalle necesario. Debe establecerse todo aquello esperado del modelo, como criterios para medir el comportamiento (lo que se observa, manipula, cambia y entrega).

c) Conceptualización del modelo

Para poder construir un modelo de simulación es importante primero entender qué métricas se usarán. Cabe mencionar que la experiencia toma también un papel importante para poder soluciones reales al problema, siempre y cuando sea necesario aportar creatividad por parte de un analista. Se recomienda iniciar con modelos simples y después irlo modificarlo hasta llegar a una complejidad deseada. Esta etapa debe definir los aspectos del sistema los cuales se representan en el modelo y su nivel de detalle.

d) Recolección y procesamiento de datos

La recolección de datos frecuentemente se obtiene de un sistema ya existente. Para todos aquellos sistemas inexistentes, los datos deben ser estimados y/o propuestos basándose en la experiencia. Es necesario que se involucren al 100% todas las personas que están envueltas en el proceso como lo son los operadores, supervisores, inspectores. Algunos de los datos más importantes que debe llevar esta etapa son:

- a. Parámetros del proceso.
- b. Actividades del personal.
- c. Materia prima.
- d. Maquinaria y equipos.
- e. Esquemas.
- f. Planos.
- g. Procedimientos.
- h. Fotos y videos.

Usando toda esta información se obtienen los valores específicos de los parámetros estadísticos los cuales son usados en la programación del modelo de simulación.

e) Construcción del modelo

En la etapa de construcción se integran los conceptos análisis, crítica, diseño y creatividad los cuales dan una forma a la estructura del modelo.

Es necesario conocer el nivel de detalle requerido cuando se construye un modelo, ya que cuando se obtiene la información necesaria y correcta, se puede modelar un sistema pequeño y simple siendo este mucho más rápido

y certero. Sin embargo, se sabe que implica la separación del sistema mediante módulos pequeños y simples cuando el sistema es complicado y demasiado grande, con esto se logra evaluar por separado antes de integrar todo en un sólo modelo, facilitando errores por información incorrecta, incompleta o mala programación.

La idealización del sistema debe ser codificada y debe contar con tres aspectos importantes:

- a. Condiciones iniciales e información de entrada.
- b. Software por emplear.
- c. Habilidad y experiencia del programador.

FlexSim es usado como una alternativa para modelar y entender problemas básicos en sistemas, sin vernos con la necesidad de programar complejamente ya que su uso de este software es muy amigable.

f) Verificación

Teniendo el modelo en algún software de simulación, se debe asegurar que los parámetros del modelo, las secuencias y lógica del sistema real estén correctamente cargados, ya que en esta etapa es donde se puede verificar si se alimentó la información correcta al software de simulación.

También en esta etapa se verifica que el modelo no haya sufrido cambiado respecto a las condiciones del sistema real.

g) Validación

En esta etapa debemos de validar si el modelo cuenta con las mismas características que el sistema real respecto a las condiciones normales de operación. Para una buena validación se deben formular preguntas como:

- a. ¿La secuencia de operaciones y movimientos es correcta?
- b. ¿Las estadísticas son similares conforme a la realidad?

Si las respuestas son positivas el modelo se consideraría que representa un sistema real.

h) Diseño de experimentos

Esta etapa plantea los experimentos que se desean saber además de los experimentos requeridos en la simulación ya que con esta información obtendremos respuestas de forma precisa y eficaz. Para el diseño de experimentos debemos tomar en cuenta los aspectos siguientes:

- a. Condiciones de simulación (ejemplo: simular en condiciones extremas; remplazos, bajas o habilitación de equipos).
- b. Duración de simulación (ejemplo: producción alta o baja, paros programados por mantenimiento o fallas esporádicas, crecimiento a diferentes lapsos de tiempo).
- c. Número de simulaciones requeridas (réplicas).

i) Producción de corridas de simulación y análisis

Esta etapa mide el comportamiento del sistema simulado, realizando experimentos ya establecidos mencionados en los puntos anteriores.

Si se requiere analizar correctamente los resultados de las simulaciones se recomienda realizar análisis estadísticos de los resultados como tablas de datos y algún uso de gráficos, esto con el objetivo de poder analizar los datos, hacer una inferencia estadística y medir el desempeño.

j) Corridas adicionales

Estas corridas o simulaciones se dan a notar cuando los resultados obtenidos no cumplen con la expectativa proyectada, o cuando se tiene alguna nueva idea con escenarios diferentes. Dependiendo de la situación en algunas ocasiones es necesario un nuevo diseño de experimento conllevando un nuevo análisis de resultados.

k) Puesta en marcha del modelo

Al término del proyecto esta herramienta permite tomar decisiones con mayor certidumbre ya que los resultados del análisis estadístico están bien fundamentados. Se debe tener en cuenta que la simulación conlleva a un cierto margen de error esto debido a las desviaciones estadísticas, por tal motivo lo recomendable es presentar los resultados con rangos y no en términos puntuales.

Al finalizar el proyecto se debe garantizar el cumplimiento las preguntas y los supuestos que se hicieron en cada uno de los puntos (Simón Marmolejo, Granillo Macías, & Santana Robles, 2014).

2.4.3. Ventajas y desventajas de la simulación

Sabemos de antemano que el poder realizar una simulación de cualquier proceso ya es una ventaja importante, pero listemos las ventajas y desventajas que existen al realizar una simulación:

VENTAJAS

- a) Bajo costo.
- b) No poner en riesgo la productividad.
- c) Identificar áreas con problemas en un proceso complejo.
- d) Capaz de realizar un estudio sistemático de alternativas aplicables al sistema.
- e) Cualquier sistema puede ser modelado no importa que tan complejo sea.
- f) En cualquier punto de la vida de un sistema y/o proceso Se puede aplicar.

DESVENTAJAS

- a) Posible no simulación cuando existen técnicas analíticas que corrigen u optimizan el sistema.
- b) Algunas veces los modelos simulados no son válidos.
- c) Algunas veces hacer modelos fuera de los límites causa una falsa apreciación del problema.
- d) No existe ningún criterio científico explicando las posibles alternativas a ser simuladas.
- e) La simulación en algunos aspectos se considera imprecisa (Arciniega, 2011).

2.5. LÍNEA DE PRODUCCIÓN

Las líneas de producción se encuentran entre los tipos más comunes de sistemas de producción utilizados en la industria. A pesar de su estructura simple, podemos

identificar muchas variedades de productos líneas de conexión como manuales o automatizadas, síncronas, asíncronas o estocásticas, con controlados o no controlados, continuas o discretos, de una sola parte, por lotes o mixtos, con búfer o sin búfer (Phillis, 2001).

Una línea de producción consta de una serie de n máquinas $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$. Las piezas de trabajo comúnmente entran a una máquina en secuencia y salen de una última máquina como productos terminados.

Se sabe que en la actualidad las líneas de producción constantemente han evolucionado optimizando los procesos, disminuyendo errores y mejorando la calidad del producto. Una de sus ventajas de dicha evolución es la reducción de costes y el aumento de la eficiencia. Las etapas más importantes en la evolución del proceso son las siguientes:

- a) Procesos manuales y agrícolas:** Los artesanos se encargaban de producir el producto de inicio a fin y se decidía su propia jornada de trabajo.
- b) Revolución industrial:** Todo trabajo manual fue sustituido por la industria debido a la producción de bienes de consumo.
- c) Taylorismo y Fordismo:** Aquí todos los trabajadores tenían tiempo y tarea específica. Ford inicia y crea la producción en masa y se inicia el uso de la cadena de montaje que fue creada por Taylor.
- d) Administración de producción y operaciones:** Según el consumo la producción es ajustada. Para ahorrar esfuerzos y gastos las operaciones se minimizan.
- e) Metodología Lean o Toyotismo:** Se justifica la producción según el consumo. Se reducen costes de producción y se desecha lo innecesario durante la producción (Infaimon, 2019).

Para una empresa del ámbito manufacturero y para la creación de algún nuevo proyecto o ampliación de una línea de producción se requiere de un análisis muy soberbio para poder esquematizar todos los flujos de trabajo.

2.5.1. Automatización industrial

La automatización industrial es considerada como el uso de tecnologías para controlar y monitorear dispositivos, máquinas y procesos industriales logrando que funcionen automáticamente y reduciendo al máximo la intervención humana (Aldakin, 2017).

Básicamente, la automatización industrial permite no sólo aumentar la producción de diferentes productos, sino también que su fabricación sea más homogénea y de calidad. Para las empresas o industrias, El tener una automatización reduce los tiempos de fabricación, así como los costes en materiales y en mano de obra. En la actualidad se piensa que la automatización industrial es una amenaza para los operadores de las industrias o empresas, pero la realidad es que el tener o contar con automatización reduce algún riesgo ya que se disminuye el uso de personas en ambientes contaminantes o nocivos, así como también el traslado de algún equipo y/o material pesado (Robotics, EDS, 2021).

Algunas de las tecnologías usadas en la automatización destacan la neumática, la hidráulica, el uso de PLC's, comunicaciones, robótica industrial, entre otros.

Existen diferentes tipos de automatización Industrial dependiendo del tipo de industria, dentro de los cuales son:

- a) Automatización fija:** Usada para producir en grandes volúmenes piezas idénticas.
- b) Automatización programable:** Usada para la producción en volúmenes bajos de distintos tipos de objetos.
- c) Automatización flexible:** Es la suma de los dos tipos de automatización mencionados anteriormente. Este tipo de automatización es el seleccionado para este proyecto.

2.5.2. Industria 4.0

La Industria inteligente y/o como actualmente se conoce industria 4.0 busca transformar a la empresa en una organización inteligente para así conseguir mejores resultados de negocio (Informático, CIC Consulting, 2021).

Es en el siglo XIX cuando inicia la evolución de la Industria. Hay cuatro revoluciones industriales actualmente:

- a) **Primera revolución industrial**, esta sucede entre 1700 y 1800. En esta revolución evolucionó el trabajo manual realizado por personas con animales, al uso de motores de agua y vapor, entre otras herramientas.
- b) **Segunda revolución industrial**, inicia a principios del siglo XX. En esta revolución se inicia el uso de acero y el uso de la electricidad en las fábricas aumentando la eficiencia, en esta etapa también se inicia la producción en masa.
- c) **Tercera revolución industrial**, inicia a finales de la década de 1950, se comienza a incorporar la tecnología electrónica e informática en las fábricas, se da la transformación de la tecnología analógica y mecánica, a la tecnología digital y el uso de softwares de automatización.
- d) **Cuarta Revolución Industrial, o Industria 4.0**, esta revolución es en la que actualmente estamos e inicio hace algunas décadas, es conocida como Industria 4.0. Esta etapa es conocida por el uso de tecnología digital como el uso de Internet y acceso a datos en tiempo real. Esta industria controla y comprende mejor todos los aspectos de su operación (Corporation, Epicor Software, 2021).

2.5.3. Robótica

La robótica es considerada como una ciencia reuniendo diferentes campos tecnológicos. Los robots iniciaron desde hace años en la industria y después de la llegada de la Industria 4.0 son ya un factor crucial en tareas repetitivas, difíciles y/o peligrosas para los humanos (Robotics, EDS, 2021).

Los beneficios de emplear robots en procesos productivos son muy variados, estos pueden ser:

- a) Realizar acciones complejas.
- b) Tomar decisiones dependiendo los parámetros establecidos.
- c) Autonomía con respecto a las personas (trabajo en forma continua 24 x 7).

- d) Flexibilidad.
- e) Mejora constante.

Así como hay ventajas también tenemos algunas desventajas en el uso de los robots, tales como:

- a) Preocupación al impacto de la robotización sobre el empleo (destrucción de puestos de trabajo). Algunos gobiernos quieren implementar la creación de impuestos por el uso de robots, con el objetivo de desincentivar su implantación.
- b) Instalar un robot requiere de una serie de costos extras ya que en la mayoría de las ocasiones requiere una automatización extra para la entrada y salida de material (Ferrari, 2019).

En la actualidad los robots se usan para demasiados procesos de manufactura la mayoría en el sector automotriz. Los robots son multifuncionales y tienen la capacidad de realizar varias aplicaciones tales como:

- a) Uso en fundición como son moldes, plásticos, tratamientos térmicos, forja y estampación.
- b) Uso en soldadura como son por arco, por puntos, por gas, por láser.
- c) Uso en aplicación de materiales como son pintura, adhesivos y secantes.
- d) Uso en mecanización como son carga y descarga de máquinas, corte mecánico, rectificado, desbardado y pulido.
- e) Uso en Láser.
- f) Uso en Chorro de agua.
- g) Uso en Montaje como son montaje mecánico, inserción, unión por adhesivos, unión por soldadura, manipulación para montaje.
- h) Uso en Paletización.
- i) Uso en Medición, inspección, control de calidad.
- j) Uso en Manipulación de materiales.
- k) Uso en Formación, enseñanza e investigación.

Mencionados todas las ventajas con anterioridad del uso del robot nuestro proyecto contara con robots sofisticados enfocados a la aplicación de pintura.

2.5.4. Necesidades de la línea

Para lograr implementar una nueva línea de producción se requiere de un análisis detallado en cada uno de los procesos habidos y por haber, así como se deben conocer cada una de las necesidades en la línea.

Se debe recopilar todo aquel material necesario, como lo son, planos o información útil por proveedores dependiendo de la máquina a instalar en la línea de producción.

2.5.5. Maquinaria

Poner en marcha una línea de producción conlleva maquinaria en buenas condiciones para nuestro proceso. Algunos de los aspectos que debes tener en cuenta y son muy importantes deben ser:

- a) Las especificaciones de las maquinas.
- b) La electricidad (tensiones, armarios, esquemas eléctricos).
- c) La estructura (pasillos, ubicaciones de maquinaria).
- d) Fluidos (agua, aire, gas).
- e) Seguridad en general.
- f) Utillajes (Altertecnica, 2020).

2.5.6. Puesta en marcha de la línea

Para un arranque de una línea de producción se requiere que esta tenga una guía del proyecto resumiendo en este cualquier especificación e información necesaria para el diseño y realización. Al realizar dicho documento mejoraremos la eficiencia de la maquinaria, tiempo de uso y el flujo de tareas.

Si se desea poner una puesta en marcha lo primero que se debe realizar es fijar un calendario para así llevar la secuencia de la nueva línea. Con lo que podemos ir llevando el seguimiento, obviamente sabemos que el aspecto más relevante es la finalización y puesta en marcha de la nueva línea (Altertecnica, 2020).

2.5.7. Distribución de una línea de producción

Una distribución de planta consiste más que nada en determinar la posición de algún elemento que integra el proceso productivo. Al realizar dicha distribución podemos ordenar espacios necesarios dentro de un layout, como por ejemplo movimiento de material, el almacenamiento, los trabajos indirectos, entre otras actividades y/o servicios.

Antes de elegir un tipo de distribución para una empresa debemos tener en cuenta la locación de la planta, los servicios básicos, el tipo de zona, la mano de obra, la proximidad con los clientes, una zona segura, así como los servicios externos a la planta (Cárdenas, 2014).

Existen varios tipos de distribución de línea, los cuales se mencionan en seguida en la Figura 5:



Figura 5. Tipos de distribución de línea.

(García Cárdenas, 2014)

a) Distribución por producto. Esta distribución también es conocida como distribución de Taller de Flujo con ella de acuerdo con los pasos progresivos necesarios para la fabricación de un producto se dispone el equipo o los procesos de trabajo. Por lo general la producción es por lotes de cada artículo, en lugar de una secuencia continúa mezclada. Es muy ideal para volúmenes grandes. Un ejemplo podría ser la manufactura de pequeños aparatos eléctricos, equipo electrónico o automóviles, además de

comentar que el proyecto llevara este tipo de distribución mediante robots en lugar de operadores. Ver Figura 6.

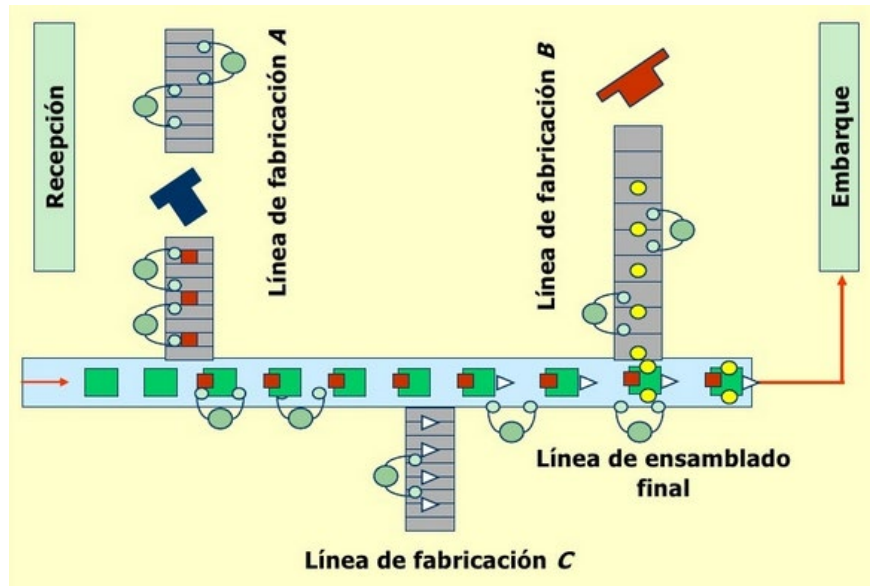


Figura 6. Ejemplo de una distribución por producto.
(Fernández López, 2012)

b) Distribución de proceso. Esta distribución algunos la conocen como distribución por función y algunos otros por distribución de taller de trabajo. Según la secuencia de operaciones establecida, una parte pasa de un área a otra, donde están ubicadas las máquinas adecuadas para cada operación. Para esta distribución la ubicación óptima es clave e implica la correcta colocación de todas las estaciones minimizando el costo de manejo de materiales entre estaciones. Este tipo de distribución emplea una técnica conocida como PSI (Planificación Sistemática de Distribución de Planta) o SLP (*Systematic Layout Planning*). Algunos ejemplos son: hospitales: pediatría, maternidad, cuidados intensivos. Ver Figura 7.

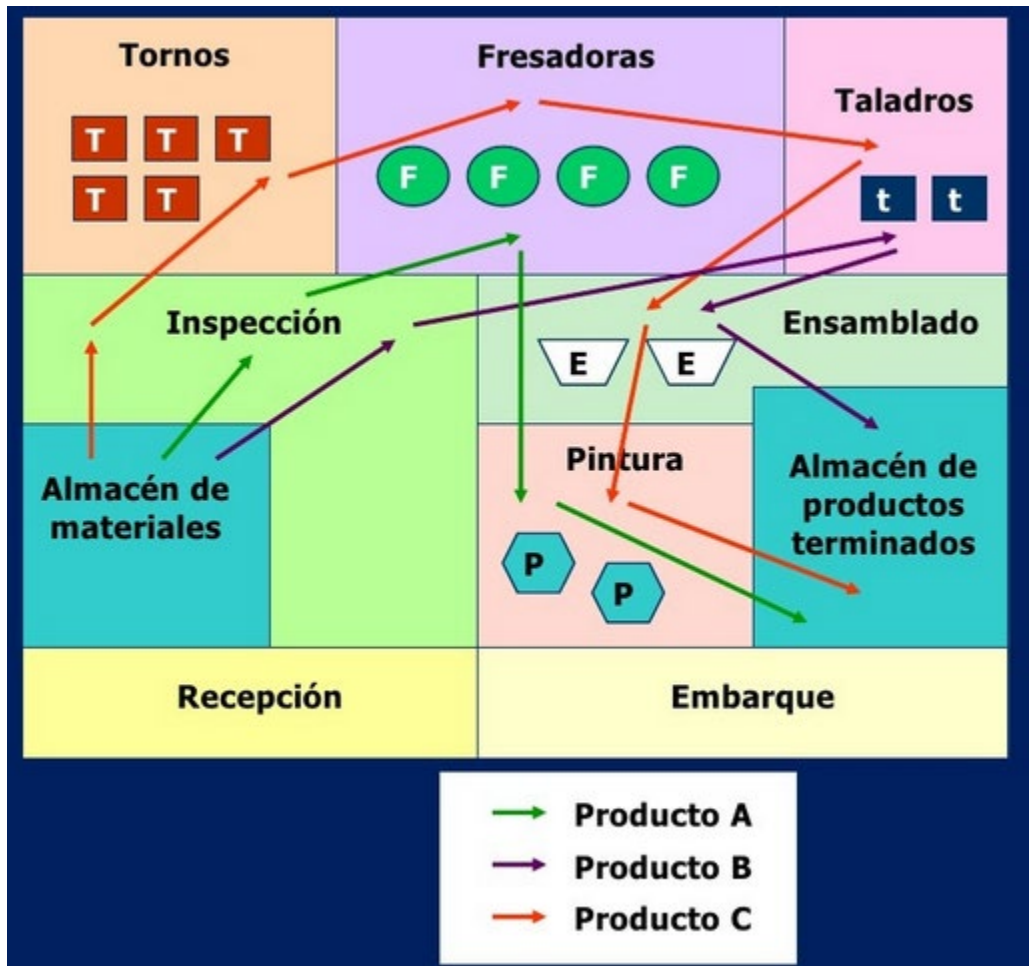


Figura 7. Ejemplo de una distribución por proceso.

(Fernández López, 2012)

c) **Distribución por posición fija.** Para esta distribución por cuestiones de tamaño o peso el producto permanece en un lugar fijo, por lo tanto, quiere decir que el proceso va hacia el producto, un ejemplo puede ser la elaboración de un puente, edificio y/o barco de alto tonelaje. Ver Figura 8.

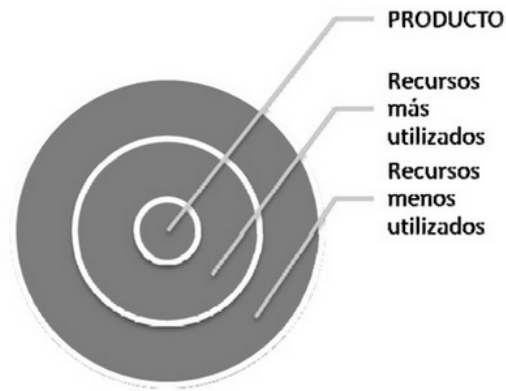


Figura 8. Ejemplo de una distribución fija.
(Kluwer, 2021)

d) Distribución híbrida. Esta distribución celular es definida por un grupo de máquinas y trabajadores realizando una serie de operaciones, en máquinas diferentes, pero con productos con formas y necesidades similares. En un ciclo de producción finito en este tipo de distribución sólo hay una cantidad limitada de piezas diferentes, por lo que existe menos manejo de material e inventario y las piezas se trasladan menos por la línea o el taller. Un ejemplo podría ser la manufactura de circuitos. Ver Figura 9.

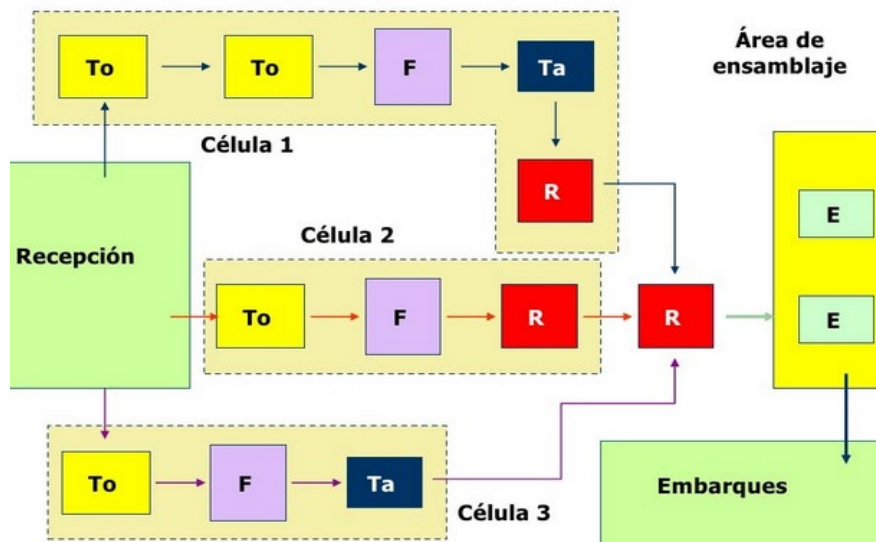


Figura 9 . Ejemplo de una distribución celular.
(Fernández López, 2012)

e) JIT. Existen dos tipos:

- a. Línea montaje o línea de flujo semejante. Estas se realizan en secuencia a las estaciones de trabajo y al equipo.
- b. Línea de distribución por taller o proceso. Simplifica todo el manejo de materiales además de que crea rutas que enlazan el sistema con movimientos frecuentes de materiales (Bacalla, 1998).

2.5.8. Uso de fixtures y conveyors en una línea de producción

Un fixture es un dispositivo de sujeción, posicionamiento, localización y/o soporte, ya sea al inicio, durante y/o al final de una operación de ensamble, maquinado, soldadura. El uso de ellos ayuda a reducir costos de producción, mantener constantemente la calidad, maximizar la eficiencia y además permite a una variedad de piezas ser fabricadas con las especificaciones correctas.

Para la fabricación de un fixture los factores que deben tomarse en cuenta son los siguientes:

- a) Requisito de producción. Este debe realizarse conforme a las necesidades reales de producción.
- b) La ubicación de cada una de las piezas deberá ser distribuida uniformemente.
- c) El movimiento de la pieza de trabajo debe ser restringido.
- d) Debe facilitar una carga fácil y rápida de la pieza de trabajo.
- e) Debe tener por lo menos una superficie de referencia.
- f) Debe haber holgura adecuada para la carga y descarga para que el proceso se haga rápido y sea fácil.
- g) Se deben usar sujeciones de acción rápida.
- h) No debe vibrar.
- i) Debe ser seguro en la operación.

En la Figura 10, se observa varios tipos de fixture usados en la industria.

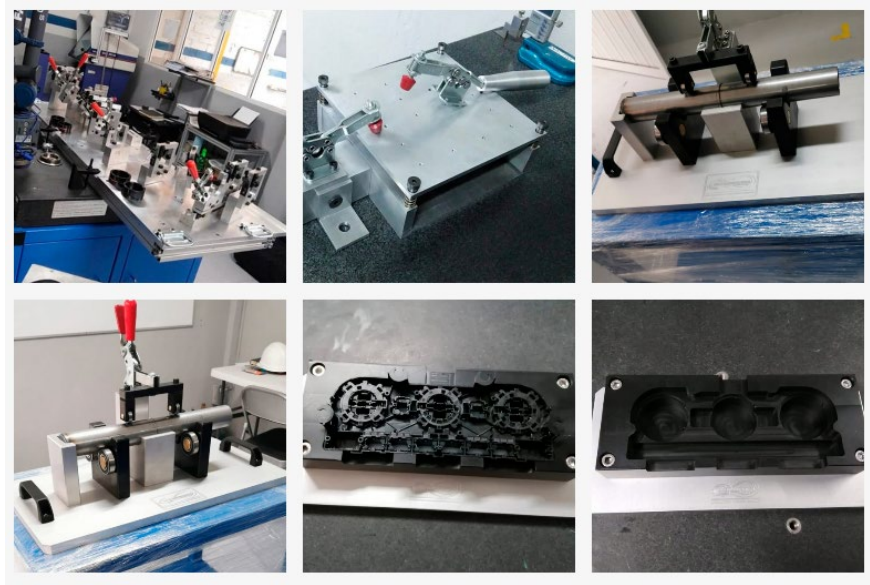


Figura 10. Ejemplos de fixtures.
(Manufactura, CYSE, 2022)

Como parte de la gestión de este proyecto se elaborará un diseño multifuncional de fixture capaz de procesar cualquiera de cuatro modelos posibles (DP LH, DP RH, IP & Z-vent).

2.6. HERRAMIENTAS PARA NUEVOS PROYECTOS

Las herramientas de administración de proyectos proporcionan a los integrantes de un equipo de trabajo la flexibilidad, estructura y el control necesario para alcanzar resultados extraordinarios dentro de un tiempo presupuestado. Ver Figura 11.

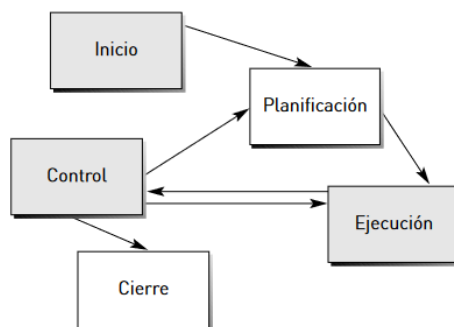


Figura 11. Etapas del proyecto.
(Domínguez, 2007)

Una administración eficaz de cualquier proyecto conlleva la utilización de procesos de gestión en cada una de sus etapas de inicio, planificación, ejecución, control y cierre del proyecto. En la Figura 12, se observa cómo es la interacción de los procesos en un proyecto.

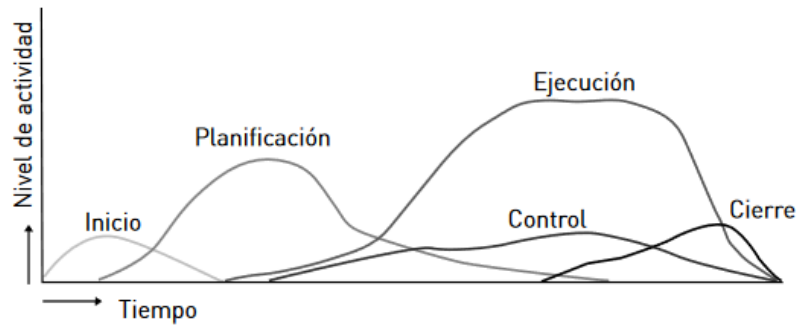


Figura 12. Interacción entre los procesos del proyecto.

(Domínguez, 2007)

Para un buen proyecto enlisto las ideas u objetivos más importantes para que el proyecto sea satisfactorio:

- a) El proyecto debe ser diferente a las demás actividades de una organización.
- b) Los proyectos siempre incluyen planes de acción específicos, presupuestos y cronogramas únicos.
- c) Los proyectos mal manejados dañan una organización.
- d) Gestionar proyectos requiere de una disciplina profesional con amplio conocimiento especializado de competencias y habilidades.
- e) Todo proyecto debe contar con un coordinador responsable del proyecto.
- f) El encargado del proyecto tiene la responsabilidad diaria de asegurar que el proyecto avance satisfactoriamente y alcanza sus metas.
- g) Para que el proyecto sea exitoso este debe ser auditado den variadas ocasiones.
- h) Se debe asegurar que los beneficios del proyecto rebasaran su costo.
- i) Debe haber una muy buena organización de actividades durante el proyecto para cumplir con las etapas del proyecto (Roberts, 2007).

En la Figura 13, se observa una lista de las 8 herramientas más utilizadas para el desarrollo y gestión de proyectos los cuales son el diagrama de Gantt, el diagrama PERT, el diagrama WBS, el calendario, el cronograma, la tabla de estado, el HOQ y el mapa mental.



Figura 13. Ocho herramientas más utilizadas en proyectos.

(Roberts, 2007)

- 1) **Diagrama de Gantt.** Planifica, administra proyectos y divide un gran proyecto en tareas de manera organizada. Las tareas tienen un tiempo de espera y se representan mediante una barra horizontal. Con un gráfico de Gantt, se pueden reconocer todas las tareas secundarias desde cuándo comienza hasta que termina cada tarea. Se puede seguir fácilmente el progreso en cualquier etapa del proyecto.
- 2) **Gráfico PERT.** Este gráfico se usa para programar y planificar proyectos completos. Muestra divisiones como fechas de inicio y finalización, tareas y asignación de tiempo. También nos muestra información esencial mediante cuadros y flechas.

- 3) **Calendario.** Se basa en fecha u hora. Regularmente se utiliza para uno mismo de manera de administración del tiempo gestionando tu día a día.
- 4) **Cronograma.** Es una herramienta visual con la cual podemos dar seguimiento a un proyecto. Se puede observar cuando debe realizarse una tarea y también puedes observar todas las tareas a lo largo del tiempo.
- 5) **Gráfico WBS.** Es llamado también como estructura de desglose del trabajo, este gráfico tiene como visión el alcance de algún trabajo desglosándose en proyectos individuales. Este gráfico tiene una estructura en forma de árbol mostrando en la parte superior la tarea general y en la parte inferior las secciones del proyecto y tareas individuales.
- 6) **Mapa mental.** Es comúnmente usado para tareas pequeñas en proyectos complejos divididos. Se pueden agregar imágenes, vincular y/o adjuntar archivos, además este tiene la capacidad de centrarse en una parte específica.
- 7) **Tabla de estado.** Con esta herramienta realizas seguimientos totales de algún progreso del proyecto. Esta tabla está centrada en el progreso completo de un proyecto. Se pueden incluir personas encargadas de las tareas para así poder evaluar el desempeño de los empleados.
- 8) **HOQ.** Con esta herramienta puedes definir la relación existente entre la capacidad del producto y la necesidad del cliente. Regularmente facilita la toma de decisiones grupales (Edraw, 2021).

Muchas de estas herramientas serán usadas durante todo el proyecto para poder cumplir en tiempo y forma cada una de las tareas críticas.

2.6.1. Mapeo del flujo de valor

El mapeo de flujo de valor (VSM) se utiliza para crear una guía visual de todos los componentes necesarios para entregar un servicio o producto, con la meta de analizar y optimizar todo el proceso.

Para que un mapa de flujo tenga valor agregado se deben tomar todas las personas, los procesos, la información y el inventario necesarios, y los muestra en un

formato de diagrama de flujo. Visualizados todos los elementos del producto o servicio, se pueden aplicar principios lean para reducir el desperdicio en áreas específicas de sus procesos (University, Purdue, 2021).

En la siguiente Figura 14, se observa un ejemplo de un mapeo de flujo de valor.

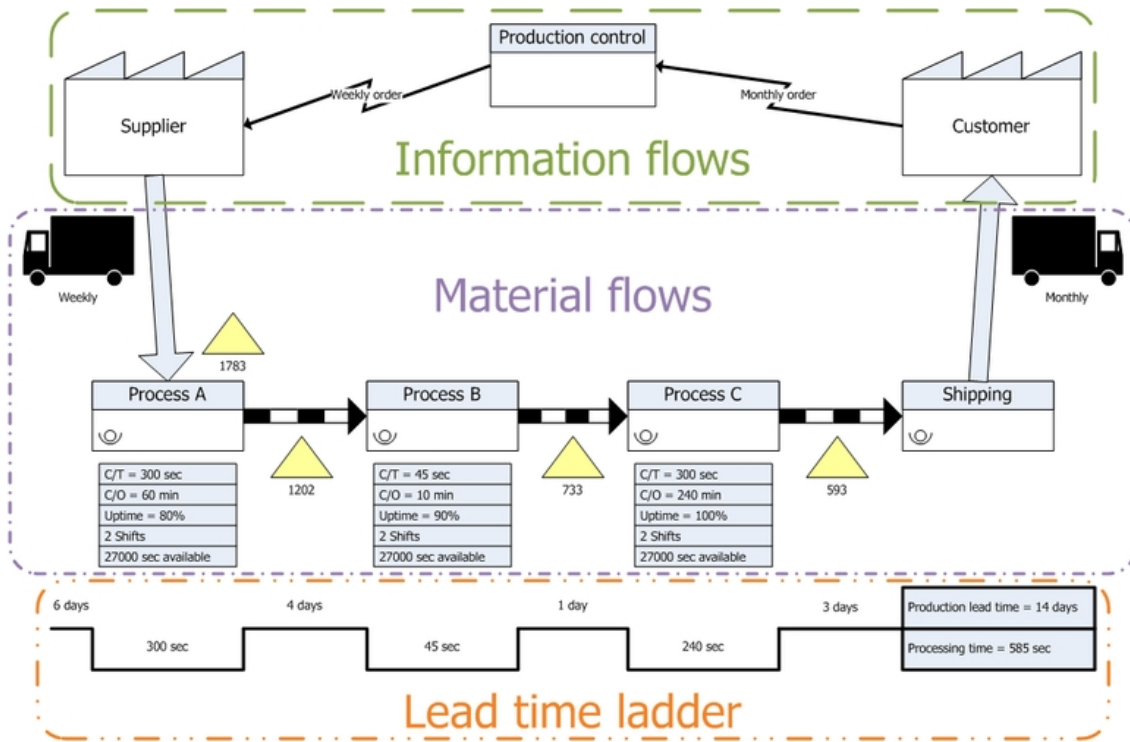


Figura 14. Ejemplo de VSM.
(University, Purdue, 2021)

2.6.2. Metodología 3P

La metodología 3P (*Preparation, Product, Process*) es considerada una de las herramientas de fabricación avanzada más poderosas y transformadoras utilizando métodos Lean. 3P busca:

- Satisfacción de los requisitos del cliente.
- Dar como resultado productos menos complejos, fáciles de fabricar, fáciles de usar y mantener.
- Eliminar pasos del proceso.
- Realizar mejoras de diseño (mejorar el rendimiento y eliminar el desperdicio).

El objetivo de 3P se enfoca en desarrollar procesos o diseños de producto que cumplan con los requisitos del cliente en la "forma de menor desperdicio". Enseguida se enlistan los típicos pasos de un evento 3P se describen a continuación.

- a) Definir objetivos / necesidades de diseño de productos o procesos.
- b) Diagramación.
- c) Encuentre y analice ejemplos en la naturaleza.
- d) Dibuje y evalúe el proceso.
- e) Construya, presente y seleccione prototipos de procesos.
- f) Realizar revisión de diseño.
- g) Desarrollar el plan de implementación del proyecto.

Prácticamente el beneficio más grande de usar la metodología 3P se enfoca en eliminar el desperdicio en la etapa de diseño de productos y procesos. Además de que en el inicio, arranque o mejora de los proyectos puede reducir el proceso de adaptación (United States Environmental Protection Agency, 2022).

2.7. ALUMINIO EN LA INDUSTRIA

Se sabe que el aluminio es uno de los contribuidores del desarrollo del ser humano a través de la historia, este permitió el desarrollo de muchos procesos industriales hacia condiciones sorprendentes e inimaginables. Por otro lado, se sabe que el aluminio es el metal más abundante sobre la corteza terrestre, atrás del oxígeno y el silicio. El aluminio es capaz de resistir la corrosión y por su baja densidad la oxidación en el Aluminio es imperceptible. Este metal ha logrado una gran cantidad de variantes y usos por tal motivo ha hecho que este sea uno de los más importantes, tanto en cantidad como en variedad de usos (Garay Reyes, Ruiz Esparza Rodríguez, & Martínez Sánchez, 2017).

"La industria del aluminio es clave debido a que la mayoría de las veces es la surtidora de materia prima a diferentes industrias importantes (Doncel, 2021).

Se sabe que el aluminio sin ninguna protección y con sus aleaciones de aluminio expuestas a la intemperie envejecen mostrando un color gris, negro en el caso de atmósferas industriales. Por lo cual para protegerlo se le aplican diferentes procesos

de acabado. Los cuales solo consisten en dos métodos de protección: anodizado y pintado; abarcando desde pinturas base disolvente hasta base agua, con un alto contenido en sólidos o pinturas en polvo (Morcillo, 2003).

Como parte del producto a pintar dentro del proyecto se sabe que la materia prima es aluminio.

2.8. PLÁSTICO EN LA INDUSTRIA

La palabra "plástico", es originaria del griego, la cual significa "que puede ser moldeado por el calor". Los plásticos también se les nombra "polímeros" ya que son productos orgánicos, con base de carbono y moléculas de cadenas largas. Por lo que, existen tres categorías de polímeros:

- a) **Plástico natural:** Producto de la naturaleza capaz de ser moldeado con calor, por ejemplo, resinas de árboles.
- b) **Plástico semisintético:** Derivado de productos naturales que han sido modificados y/o alterados por medio de la mezcla con otros materiales.
- c) **Plástico sintético:** Estos alteran la estructura molecular de materiales hechos a base de carbono como el gas, el carbón o el petróleo crudo.

La ventaja de la industria de polímeros ante otras industrias es su diversidad y versatilidad. Debido a su versatilidad el negocio del plástico es una industria con un crecimiento extraordinario, logrado formar infinidad de productos, y constituirse como un bien de consumo final. Actualmente, el plástico en México ha crecido económicamente y aumentado su volumen de exportación (Pérez, 2014).

Entre los materiales para el desarrollo de la industria automotriz se encuentran los polímeros y/o plásticos ya que son parte de la satisfacción de los requerimientos esenciales en el diseño y selección de materiales, dadas sus propiedades atractivas satisface algunos de los requisitos de diferentes componentes y cualidades de un auto (Ramos Rivero, 2018).

Además del aluminio como materia prima en este proyecto también se conoce que otra parte a pintar será de plástico.

2.9. PINTURA

La historia de la pintura inicia desde la prehistoria y en ella hubo diferentes cambios y técnicas usadas, las primeras pinturas abarcan desde las rupestres ubicadas en cuevas, así como imágenes en papiros o las paredes de las tumbas egipcias, en la época paleocristiana decorando las catatumbas, en el renacimiento donde fue renombrado Leonardo Da Vinci, así como en otras épocas mayormente usadas en el arte. En la actualidad la pintura ha evolucionado en nuevas técnicas digitales y virtuales.

El hablar de pintura o de artes pictóricas es referirse a la forma artística que representa la realidad gráficamente, en ella se emplean formas y colores sobre una superficie, iniciando con pigmentos naturales y sintéticos mezclados con sustancias aglutinantes (pinturas) (Editorial Etecé, 2021).

Salen al mercado los primeros vehículos en la primera década del siglo XIX, con ello, nace también el proceso de pintura. Actualmente la tecnología ha avanzado bastante por lo que ha mejorado día con día este medio de transporte, inicio con algunos productos naturales y en la actualidad se usan polímeros de alta tecnología.

Enseguida muestro una breve línea del tiempo del uso de los polímeros desde su inicio en la industria automotriz hasta la actualidad:

- 1) Por la década del siglo XX el proceso de pintura era basado usando productos usados en la madera, por lo cual solo se ofrecía el color negro.
- 2) Eran usadas grasas animales para pintar los carruajes de caballos. Por lo cual, más tarde, se evoluciono a la cera y aceites, el cual ayudaba a sellar cualquier imperfección de la madera.
- 3) Se inicia con la producción de automóviles usando carrocería metálica en lugar de madera, por lo cual algunas partes eran galvanizadas, por lo cual se concluyó que la pintura es una solución para proteger y decorar.
- 4) En 1923, se desarrollan los sistemas de laca basadas en nitrocelulosa por E. I. DuPont de Nemours, ofreciendo una gran cantidad de colores y aplicándose por medio de pistolas.

- 5) Las pinturas basadas en nitrocelulosa mejoraron su aplicación pasando a ser pulverizada.
- 6) Nacen los esmaltes alquídicos derivados de la glicerina procesada por grasas animales y vegetales y es en esta etapa en la década de 1930 donde comienza la etapa de pintado que actualmente conocemos en la industria de automoción.
- 7) Cuando ocurre la Guerra Mundial, se desarrolla el repintado industrial el cual ofrecía un tiempo de secado muy rápido eliminando al proceso de pintado como cuello de botella.
- 8) En la década de 1950 las lacas acrílicas añadieron colores metálicos y diferentes brillos.
- 9) Es en el año de los setenta donde se introducen el uso de catalizadores con la finalidad de aumentar en un 50% el rendimiento, se mejoraron los acabados ya que se empezó a realizar un proceso similar al que actualmente conocemos de "capa base y capa transparente", con esto se elimina el pulido y mejora la resistencia a los rayos ultravioletas.
- 10) En los 80, el proceso de la capa final se divide en una capa base de esmalte pigmentado y después de esto una aplicación de acabado de esmalte transparente, este proceso actualmente es uno de los más comunes y usado. El sistema tiene la capacidad de mejorar el brillo del producto y además permite que la pintura incorpore formuladores absorbentes de UV para proteger la capa base y prevenir la oxidación (García, 2014).

2.9.1. Técnicas de pintado

Existen diferentes técnicas de pintado en la industria tales como:

- a) **Rodillo:** Usado comúnmente para pintar superficies planas, como un piso o una pared. El rodillo permite transferir pintura de manera eficiente y rápida, estos vienen en varias formas para producir resultados diferentes.
- b) **Recubrimiento por inmersión:** Esta técnica es usada para cubrir un componente completamente de pintura, de manera rápida y eficiente. Usar

este método, permite sumergir el producto en la pintura directamente y dejar que se seque. Esta técnica funciona mejor en pinturas industriales gruesas con una fuerte calidad adhesiva.

- c) Brocha de pintura:** Estas son usadas comúnmente para pintar detalles pequeños. Teniendo una buena técnica de pintado puedes obtener fácilmente un acabado profesional en cualquier proyecto. Las brochas que se manejan son de una gran variedad de tamaños y estilos, con distintas formas, ángulos e incluso cerdas.
- d) Pulverizador sin aire:** Este tipo de pulverizadores atomizan la pintura a una presión alta. Son ideales para pulverizar grandes áreas industriales de forma rápida, y eficiente. Con el se pueden manejar revestimientos mucho más gruesos (General Paint, 2017).
- e) Pulverización con aire:** Una pulverización de aire es una de las más adecuadas opciones para llevar a cabo un trabajo de pintura industrial. Este método expande una especie de neblina o de rocío fino a diferentes niveles de presión. De esta forma, conseguirás un acabado liso y completamente profesional en tus superficies industriales (Rodríguez E. J., 2019).

2.9.2. Pintura poliuretano

Toda pintura de poliuretano tiene la capacidad de tener una gran resistencia a los impactos, además de una gran flexibilidad, por tal motivo es perfecta para usarse en la industria.

El poliuretano es un polímero, el cual proviene de la mezcla de polioliol y el isocianato, y este es aplicado en una gran variedad y cantidad de procesos industriales.

La diferencia de esta pintura a comparación de otras es que contiene una mayor flexibilidad, alta resistencia a los ataques químicos y al desgaste físico. Un plus de esta pintura es tener acabas sin porosidad.

Las aplicaciones más comunes del poliuretano son las siguientes:

- a) Automóviles: Aquí suelen usarse para fabricar volantes, espumas, sistemas de reposacabezas, pintar carrocerías y puertas. Para transportes el poliuretano termoplástico aporta seguridad, ahorro de energía y comodidad.
- b) Recubrimientos y adhesivos: En esta parte es usado en pegamentos para unir madera, cemento, gomas, vidrios o el cartón. Esta aplicación en adhesivos garantiza la resistencia y la estética de los materiales.
- c) Pinturas: En proyectos industriales se logra obtener una alta resistencia a los factores externos aplicando el poliuretano al plástico, madera, metales, fibras de vidrio, telas, logrando resultados con acabados perfectos, aportando resistencia a los químicos y al agua, así como generar una película duradera.
- d) Construcción: el poliuretano en este ramo se usa para fabricar paneles de espuma rígida en las construcciones, garantizando el aislamiento térmico y creando una gran resistencia (Blatem, Pinturas, 2015).

En este proyecto se usará un proceso de Pintura base poliuretano con un flujo 2C1B y 2C2B (C=Coating, B=Baking) el cual será automatizado para poder correr pinturas con dos aplicaciones de pintura, una base y una capa de acabo, y a su vez proceso por uno o dos hornos, aplicada mediante robots con pistolas automáticas.

2.9.3. Pretratamiento de pintura

El pretratamiento de un material se considera de suma importancia antes de aplicar cualquier recubrimiento de pintura no importa si es en polvo o líquida, debido a que este proceso limpia las impurezas de cualquier superficie para poder recibir el recubrimiento a ser aplicado. Este proceso también promueve la adherencia entre los recubrimientos y las superficies, ya que si cuentas con una pintura aceptable junto con una superficie bien tratada esta será de mejor calidad, en cambio se tendría una mala calidad teniendo la mejor pintura del mundo, pero una superficie mal tratada, por tal motivo se han desarrollado diferentes procesos de limpieza para preparar la superficie en óptimas condiciones según el trabajo a desempeñar (Merchán Cedeño, 2012).

Para poder definir un proceso de pintado debemos considerar siempre la materia prima, a que grado de limpieza queremos llegar, la forma a pintar y las dimensiones de los productos a ser procesados, así como la cantidad de productos a ser procesados en un periodo de tiempo.

Los procesos de limpieza pueden ser los siguientes:

- a) Aspersión.
- b) Inmersión.
- c) Ultrasonido.
- d) Electrolisis.
- e) Acción mecánica.
- f) CO₂.

Para tratar nuestras partes y mantenerlas libres de impurezas se instalará un robot de aplicación de CO₂ como primera etapa del proyecto.

2.9.3. Horneado de pintura

En la actualidad los hornos industriales son muy utilizados, ya que realizan una transferencia de calor a una gran variedad de objetos. Generalmente los hornos se utilizan para realizar fundición de una gran variedad de metales con una temperatura mayor a los 1000 °C. Otra aplicación de los hornos industriales es la del precalentamiento de materiales (extrusión, doblado, laminado, forjado, y rolado), en el área de tratamientos térmicos (recocido, revenido, nitrurado, entre otros), hornos de baja temperatura (secado, curado de pintura y polimerización).

Se tienen dos tipos de hornos:

- 1) Continuos: Este tipo de hornos realizan su función acorde al movimiento, en función del desplazamiento la temperatura varía. Por lo regular el material es trasladado mediante bandas transportadoras o carros.
- 2) Discontinuos: En este tipo de hornos generalmente los materiales son introducidos de forma manual, o con la ayuda de un mecanismo

automatizado y su temperatura es constante (Cuzco Cantos & Domínguez Ochoa, 2019).

Es de gran importancia poder definir un horno de pintura para el curado de la pintura, ya que para poder dar una buena apariencia final es de suma importancia tener un buen proceso de curado. Todos los tipos de hornos de curado son clasificados según el tipo de operación, como pueden ser hornos de convección, radiación y/o infrarrojos.

Un horno de convección alcanza cualquier temperatura seteada y el aire es calentado en el interior de una cámara mediante quemadores de gas o usando resistencias eléctricas usando sistemas de recirculación de aire generando una convección forzada, algunos de ellos también trabajan en forma estática o continua.

Para los hornos de radiación infrarroja el calor que generan es imperceptible ya que los objetos absorben la radiación que genera el horno.

Los hornos infrarrojos regularmente funcionan con electricidad y/o gas y estos trabajan de forma continua, en ellos las piezas pintadas están en contacto directo con la fuente de radiación (El equipo de marketing, 2016).

Como ya ese menciona este proyecto contara con dos hornos de curado y secado.

2.10. ESTÁNDARES

Los estándares de calidad se utilizan de manera global y para controlar la gestión de los estándares de calidad, en este caso usada por todos los miembros de la industria automotriz, así como para este proyecto. Uno de los estándares más conocidos es la *International Automotive Task Force*, o mejor conocida como IATF, esta organización regula las reglamentaciones de estándares de calidad a nivel global. IATF junto con el comité técnico de la ISO desarrolló la norma ISO/TS 16949 en 1999; ISO/TC 176 fue creada con el objetivo de armonizar los sistemas de evaluación y certificación globalmente (Echeverría, 2021).

2.10.1. ISO

ISO (Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización. ISO es considerada una organización no gubernamental ya que comprende organismos de normalización de más de 160 países, con un organismo de normalización que representa a cada país miembro. El *American National Standards Institute (ANSI)*, por ejemplo, representa a los Estados Unidos. Las organizaciones miembros colaboran en el desarrollo y promoción de estándares internacionales para tecnología, procesos de pruebas científicas, condiciones de trabajo, problemas sociales y más. Luego, ISO y sus miembros venden documentos que detallan estos estándares. Una Asamblea General, que consta de representantes de los miembros de ISO y líderes electos llamados funcionarios principales, actúa como el organismo de toma de decisiones de ISO. La organización tiene su sede en Ginebra, Suiza, donde una secretaría central supervisa las operaciones (Steele, 2021).

Para este proyecto se utilizan las siguientes normas ISO:

- a) **ISO 2409:** La Norma ISO 2409 fue armada por el Comité Técnico ISO / TC 35, Pinturas y barnices, Subcomité SC 9. Esta Norma Internacional especifica el método de prueba que evalúa la resistencia de los revestimientos de pintura con la separación de los sustratos al ser cortado un patrón de celosía en ángulo recto en el revestimiento, penetrando hasta el sustrato. La propiedad determinada por este procedimiento de ensayo empírico depende, entre otros factores, de la adhesión del revestimiento a la capa anterior o al sustrato.

La prueba está destinada principalmente para su uso en el laboratorio, aunque también es adecuada para pruebas de campo. El método es aplicable a la pintura sobre sustratos duros (p. Ej., Metal) y blandos (p. Ej., Madera y yeso) (Organización Internacional de Normalización (ISO), 2013).

- b) **ISO 1518:** Este documento especifica un método de prueba para determinar, en condiciones definidas, la resistencia de una sola capa o un sistema de varias capas de pintura, barniz o producto relacionado a la penetración al rayar con un lápiz óptico cargado con una carga específica. La penetración de la aguja se produce en el sustrato, excepto en el caso de

un sistema de múltiples capas, en cuyo caso la aguja puede penetrar en el sustrato o en una capa intermedia.

El método se puede realizar ya sea como una prueba de "pasa / no pasa", mediante la prueba con una sola carga especificada aplicada al lápiz para evaluar la conformidad con una especificación particular, o como prueba de evaluación aplicando cargas crecientes a la aguja para determinar la carga mínima a la que se penetra el revestimiento (Organización Internacional de Normalización (ISO), 2019).

- c) ISO 6270-2:** Este documento proporciona información importante que consiste en la explicación de muestras de ensayo preparadas para poder evaluar cualquier detección de defectos desarrollados en atmósferas ambientales húmedas, como atmósferas constantes de agua de condensación o atmósferas alternas de agua de condensación.

Las pruebas aclaran los comportamientos de las muestras de prueba en atmósferas ambientales húmedas. También se identifican defectos de las muestras de prueba contra la corrosión. Este tipo de pruebas no obligatoriamente muestran datos de predicción de la vida útil (Organización Internacional de Normalización (ISO), 2018).

- d) ISO 6452/B:** Este documento especifica un método de prueba destinado a determinar las características de empañamiento de las telas recubiertas de caucho o plástico que se utilizan como materiales de acabado en el interior de los vehículos de motor.

El método también puede aplicarse a materias primas fluidas, pastosas, en polvo o sólidas que son la base de dichos materiales de acabado o a partir de las cuales se fabrican los materiales. El método también se puede aplicar a otros materiales y productos terminados.

El procedimiento es aplicable a la medición del condensado de niebla en superficies de vidrio dentro de los límites de las condiciones de prueba (Organización Internacional de Normalización (ISO), 2021).

- e) ISO 3795:** Esta norma específica todo aquel método que pueda determinar la velocidad de combustión de manera horizontal en materiales después de una exposición a una pequeña llama.

Frecuentemente con este método de prueba, se prueban materiales y partes del interior de cualquier vehículo con espesores de hasta 13 mm. Regularmente juzga la uniformidad de los lotes de producción respecto a su comportamiento de combustión.

En esta norma internacional, este método no se considera adecuado para la evaluación de las características de combustión en un vehículo debido a que existen muchas diferencias entre la aplicación y orientación dentro del interior del vehículo (Organización Internacional de Normalización (ISO), 1989).

2.10.2. SAE

La SAE International representa a la *Society of Automotive Engineers International*. Esta sociedad cuenta con más de 1000 ingenieros y expertos relacionados al sector aeroespacial, automotriz y vehículos comerciales. Esta asociación da información constante y soluciones de movilidad con beneficio a la humanidad. Esta asociación aporta nuevas tecnologías de desarrollo y aplicaciones empresariales.

SAE International también desarrolla cientos de informaciones técnicas relacionadas con cualquier vehículo motorizado.

Además de las ya mencionadas esta norma también incluye partes, equipos y sistemas. Innova y regula los principios de diseño, producción e interoperabilidad (Eurolab, 2017).

Para este proyecto se utilizan las siguientes normas SAE:

- a) SAE J2412:** Es un estándar basado en el rendimiento para la intemperie acelerada que utiliza un arco de xenón como fuente de luz para simular la exposición interior a la luz solar de forma acelerada. Especifica condiciones específicas de prueba y monitoreo y utiliza una combinación de filtros adecuada que permiten la reproducción de los efectos de la intemperie

que ocurren cuando los materiales se exponen a la luz solar a través del vidrio de la ventana, el calor y la humedad (Engineers, Society of Automotive, 2021).

- b) SAE J2527:** Esta Norma SAE J2527 es idénticamente igual que la norma SAE J2412, pero a diferencia de esta la SAE J2527 se encarga de revisar aplicaciones para exterior y la SAE J2412 revisa aplicaciones para interior.
- c) SAE J365:** Esta prueba se puede utilizar para determinar la resistencia al rayado de muestras de prueba como tableros de fibra, telas, telas recubiertas de vinilo, cueros y materiales de adorno similares (Engineers, Society of Automotive, 1994).
- d) SAE J1351:** Esta prueba se aplica a varios materiales utilizados para aislamiento y otras aplicaciones. El propósito de esta prueba es evaluar y comparar las características de olor de varios materiales de acabado y aislamiento y compuestos. El olor es una propiedad difícil de cuantificar. Por lo tanto, los datos de esta prueba son probablemente más útiles cuando se comparan con los datos obtenidos de muestras con características de olor conocidas (Engineers, Society of Automotive, 2015).

2.10.3. TP

Son estándares del cliente el cual ya están establecidas y deben cumplirse acorde a sus requerimientos.

Para este proyecto se utilizan las siguientes normas TP:

- a) TM-5010:** Esta especificación establece estándares de composición, calidad y rendimiento para los sistemas de pintura entregados al cliente y proveedores para su aplicación en piezas de plástico moldeadas en el interior del vehículo.
- b) TP-0000701:** Esta norma describe la metodología aprobada para el estudio de las características de solidez a la luz de los materiales automotrices en condiciones de laboratorio, sujeto a los siguientes términos y condiciones.

- c) **TP-0000703:** Esta norma describe la metodología aprobada para evaluar la resistencia de materiales recubiertos y no recubiertos al ataque químico superficial, sujeto a los siguientes términos y condiciones.
- d) **TP-0000706:** Esta norma describe la metodología aprobada para la evaluación de la resistencia de materiales, componentes y ensamblajes a las condiciones climáticas diseñadas para acelerar el envejecimiento, sujeto a los siguientes términos y condiciones.

2.10.4. DIN

Se agrega a este proyecto la norma DIN EN 60068-2-70, la cual está destinada a proporcionar un método estandarizado para determinar la resistencia de las marcas e inscripciones en superficies planas o redondeadas a la abrasión que puede ocurrir, por ejemplo, en accionadores manuales y teclados. El método también es adecuado para probar la resistencia a la contaminación por fluidos, como puede ocurrir en el funcionamiento normal (International Electrotechnical Commission (IEC), 1995).

2.11. LAYOUT

Se sabe que el layout es una parte fundamental en la planificación de la cadena de suministro. Elaborar un correcto diseño ayudara a tener un flujo ordenado y eficiente de productos, equipos y personas.

Por otro lado, un diseño incorrecto o mal planificado se desperdiciará todo el espacio disponible y/o consumir más espacio del que debería. También se debe planificar nuestro futuro ya que debemos identificar todo espacio de almacenamiento disponible, tanto horizontal como verticalmente. Por lo cual, una correcta distribución del layout ocupa varios factores, como:

- a) Reducir costo de almacenamiento.
- b) Distribución de la mercancía y la planificación del espacio.
- c) Mejorar el servicio al cliente.
- d) Cumplimiento de los estándares de calidad.
- e) Disminuir los trabajos administrativos.

Un diseño efectivo de un layout consigue optimizar cada una de sus funciones, lograr máxima eficiencia y usar más los espacios (ESAN, Universidad, 2021).

En la siguiente Figura 15 y Figura 16, se observa el Layout y flujo del mismo definido para este proyecto.

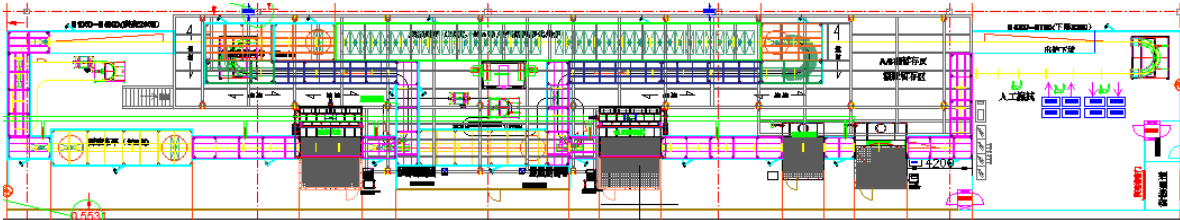


Figura 15. Layout propuesto para la línea de pintura.

Elaboración propia.

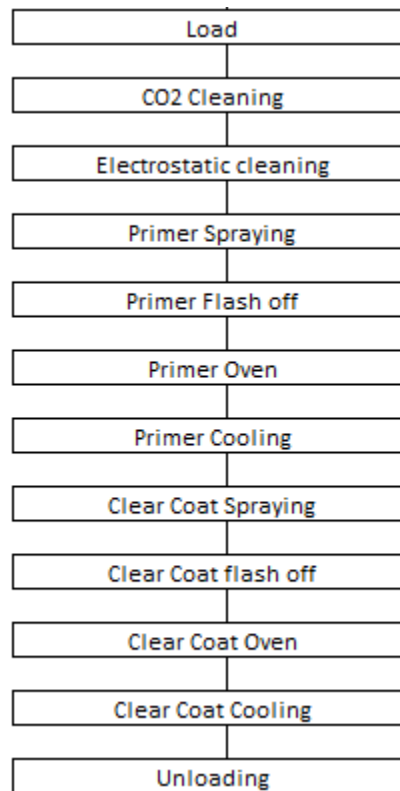


Figura 16. Flujo de Layout propuesto para la línea de pintura.

Elaboración propia.

3. PROCEDIMIENTO

En esta sección describimos todos los pasos necesarios requeridos para poder lograr el arranque y gestión de la línea de pintura de partes de interior, cumpliendo con las necesidades y los requerimientos para una línea de pintado, así como también cumpliendo con los entregables PPAP.

La base primordial para lograr el arranque exitoso de esta línea de producción de pintura de partes de interiores será usando la metodología APQP y tomando algunas bases de la metodología 3P.

Sabemos que al usar la metodología APQP podremos administrar el proyecto de lanzamiento ya que en proyectos difíciles esta metodología facilita la comunicación entre la mayoría de las áreas afectadas (equipo multidisciplinario). Se llevan a cabo cada una de las fases marcadas en el APQP para poder lograr la conclusión de esta línea, las cuales son:

- 1) Planeación.
- 2) Diseño y Desarrollo del Producto.
- 3) Diseño y Desarrollo del Proceso.
- 4) Validación del Producto y del Proceso.
- 5) Retroalimentación, evaluación y acciones correctivas.

3.1 PLANEACIÓN

En este apartado se establecen los pasos necesarios para tener un proyecto satisfactorio. El objetivo de planear y desarrollar los siguientes pasos es para poder facilitar la comunicación entre todos los involucrados del proyecto, así como asegurar que cada uno de ellos se cumplan en tiempo.

3.1.1. Organización del equipo

El equipo de trabajo se formó por todos los involucrados a nuestro proyecto, además de que se seleccionó al dueño del proceso. El equipo de trabajo se agrupo por personal de ingeniería, manufactura, control de materiales, compras, calidad, recursos humanos, proveedores y cliente.

3.1.2. Necesidades del proyecto

En esta etapa inicial del proyecto se identificaron:

- a) Expectativas.
- b) Requerimientos de cliente.
- c) Selección líder de equipo.
- d) La definición de roles.
- e) Responsabilidades de cada área.
- f) Expectativas del cliente (diseño, numero de pruebas).
- g) Requerimientos del proceso de manufactura.
- h) Método de documentación e Identificación del proceso.

3.1.3. Expectativa y requerimiento del cliente

Es necesario conocer ampliamente toda la expectativa y requerimiento que necesita el cliente y para poder lograrlo necesitamos hacer una revisión detallada del contrato de acuerdos de manufactura hecho contra el cliente, los cuales incluyeron:

- a) Gastos:
 - a. Equipos.
 - b. Herramientas (estándar, especiales & fixtures).
 - c. Facilidades.
 - d. Curva de entrenamiento y adaptación.
 - e. Viáticos.
 - f. Grupo de trabajo encargado de la modificación.
 - g. Transferencia o arranque del programa.
- b) Volúmenes de producción: Por hora, día, mes y año.
- c) Tiempos:
 - a. Carga.
 - b. Descarga.
 - c. Pruebas.

- d. Empaque.
 - e. Surtido de materiales.
 - f. Horas/minutos por unidad.
 - g. Tiempo de control de calidad.
- d) Función del operador:
- a. Producción.
 - b. Pruebas.
 - c. Empaque.
 - d. Surtido de materiales.

Toda esta información se almaceno y concentro para poder controlar la información que el cliente proporciona.

3.1.4. Revisión de especificaciones y funcionalidades

Se reviso cada especificación de cada uno de los documentos necesarios, así como se verifica el alcance y hacia donde se quiere llegar ya que es de suma importancia en el desarrollo del proyecto y la producción de los números de parte a producir. Para llevar un correcto y certero análisis de especificaciones y funcionalidades la información contiene:

- a) Una pieza prototipo de cada número de parte como ensamble final, con la finalidad de poderlo ver, manipularlo y estudiarlo.
- b) Listado de materiales, con cantidades de uso.
- c) Números de parte.
- d) Dibujos de pieza y empaque.
- e) Especificaciones de maquinaria, ensamble, pruebas, calidad, identificación del producto, etiquetado, seguridad, medio ambiente, empaque, transportación y validación.
- f) Requerimientos de calidad, validación & trazabilidad.

3.1.5. Diagrama de Flujo general

Se realizó un diagrama de flujo del proceso de manufactura anticipado donde se mencionan los procesos detallados con la información preliminar de los materiales, máquinas y necesidades supuestas del producto.

3.1.6. Características especiales

Son indicadas las características especiales del producto y las del proceso tanto por el cliente, como por nosotros como proveedores.

En este apartado se identifica la lista de características especiales del producto y proceso, las cuales algunas de las veces no se encuentran marcadas en los dibujos, se adquieren por experiencia, o simplemente si no cumplen alguna especificación estas no son aceptadas por el cliente, dicha información es evaluada en base a las necesidades de entrada y con respecto a las expectativas del cliente. En esta parte del proyecto se usan características especiales del proceso de procesos de manufactura similares. Alguna característica especial pudiera ser alguna dimensión, cráter en la pintura, partículas en la aplicación, entre otras.

3.1.7. Mapeo de proceso

De acuerdo con la metodología de "*Value Stream Mapping*", se mapea el proceso como se tiene contemplado, describiendo el panorama ideal al que desea llegarse e indicando cada uno de los procesos que se necesitan para lograr dicho mapeo.

3.2 DESARROLLO DEL PRODUCTO

El desarrollo del producto en el proyecto muestra todos los elementos necesarios para cualquier proceso de planeación a punto de culminar sus propiedades y características de diseño. Aquí se incluyen prototipos para verificar que el producto cumpla con el objetivo del cliente.

Se evalúa el cumplimiento del volumen de la producción, los programas de producción, los objetivos de calidad, ingeniería, costo de inversión, costo unitario, confiabilidad y esquema de tiempo.

Para los controles especiales del producto y el proceso aquí se usan herramientas analíticas para priorizar y definir las características.

Aquí es necesario revisar amplia y críticamente todos los objetivos de ingeniería y/o alguna otra información referente al tema. También en esta etapa, se realiza un análisis de factibilidad de manera preliminar con el fin de evaluar cada uno de los problemas críticos que pudieran suceder durante la manufactura.

3.2.1. Especificaciones de ingeniería

En esta etapa se muestran los tamaños de frecuencia, muestra y criterios de aceptación de las piezas, se realiza una revisión detallada de especificaciones identificando cada uno de los requerimientos como son el de durabilidad, funcionalidad y apariencia de la parte y del ensamble.

3.2.2. Especificaciones de materiales

Para las características especiales que tengan relación con las propiedades físicas, de medio ambiente, de desempeño, de manejo y los requerimientos de almacenamiento son revisadas en esta etapa con el termino de especificaciones de materiales tales como el polímero a usar en la pintura, material de la resina de plástico, entre otros.

3.2.3. Requerimiento de equipo, herramental e instalaciones

Se debe evidenciar que el equipo y herramental nuevo son capaces de realizar su función. Cada uno de los avances en las instalaciones se monitorea asegurando el no rebaso de las pruebas de producción planeadas.

3.2.4. Requerimiento de equipos de prueba & gauges

Se deben agregar todos y cada uno de los equipos de pruebas & gauges.

3.3 DESARROLLO DEL PROCESO

Para lograr esta etapa del proyecto se tuvo éxito en las etapas anteriores abarcando cada característica principal del sistema de manufactura, así como los planes de control relacionados al producto. Se aseguro que cada necesidad y expectativa de cliente se cumpliera al 100%.

3.3.1. Especificación y norma de empaque

Se incorporan las normas y especificaciones de empaque del cliente. Se muestra como el diseño de empaque aseguro el no daño del producto, cumplió con el desempeño, tránsito y desempaque, y compatible con todos los equipos de manejo de materiales.

3.3.2. Diagrama de flujo de proceso

El diagrama de flujo enfoco el proceso para ejecutar el AMEF y el Plan de Control. En esta etapa se muestra el diagrama de flujo mostrando máquinas, materiales, métodos y mano de obra usados en el proceso de manufactura.

3.3.3. Layout de secuencia de piso

El layout de piso fue usado para optimizar los recorridos y movimientos del manejo del material para facilitar el flujo del proceso. Así como para el desarrollo de puntos de inspección, la ubicación concreta de las ayudas visuales, instrucciones de trabajo, estaciones de trabajo, área de almacenamiento, entre otros.

3.3.4. Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso (PFMEA)

Mostrar el AMEF de Proceso ya revisado en conjunto con el equipo multidisciplinario, como ya sabemos este nos ayudara a prevenir, resolver y/o monitorear algún problema critico en el proceso.

3.3.5. Plan de control de prelanzamiento

Aquí se describen las mediciones dimensionales y las pruebas de materiales y funcionalidad después de los prototipos y antes de la producción masiva. El propósito del plan de control de prelanzamiento contener todas las no conformidades en las corridas iniciales de producción.

3.3.6. Parámetros de proceso

Se muestran los parámetros en las corridas iniciales que fueron usados para evaluar cada una de las características de rendimiento de la línea contra el producto. Estos parámetros serán usados en cada uno de los procesos dentro de la línea, con la finalidad de controlar cada uno de los procesos.

3.4 VALIDACIÓN PRODUCTO-PROCESO

Revisión de las características principales con las que fue validado el proceso de pintado a través de la evaluación de una corrida de producción prueba. Además de validar el plan de control y el diagrama de flujo del proceso y que los productos cumplen con los requerimientos del cliente.

3.4.1. Simulación de producción

Aquí mostramos una simulación previa a la corrida de prueba usando el software de simulación FlexSim validando flujos, tiempos, cantidad producida.

3.4.2. Corrida y pruebas de validación de producción significativa

La corrida de producción de prueba y las pruebas de validación se realizaron usando el herramental, equipo, operadores de producción, instalaciones y tiempo ciclo de la producción, además de mostrar la validación de la efectividad del proceso de manufactura comenzando con la corrida de producción de prueba.

4. RESULTADOS

4.1 PLANEACIÓN DEL PRODUCTO

4.1.1 Organización del equipo

En la Figura 17, se observa cada uno de los puestos del equipo involucrado de manera general, así como cada una de las funciones que desempeñan en dicho proyecto. Para la parte del proyecto de la línea de pintura nos enfocaremos en el departamento de Manufactura.

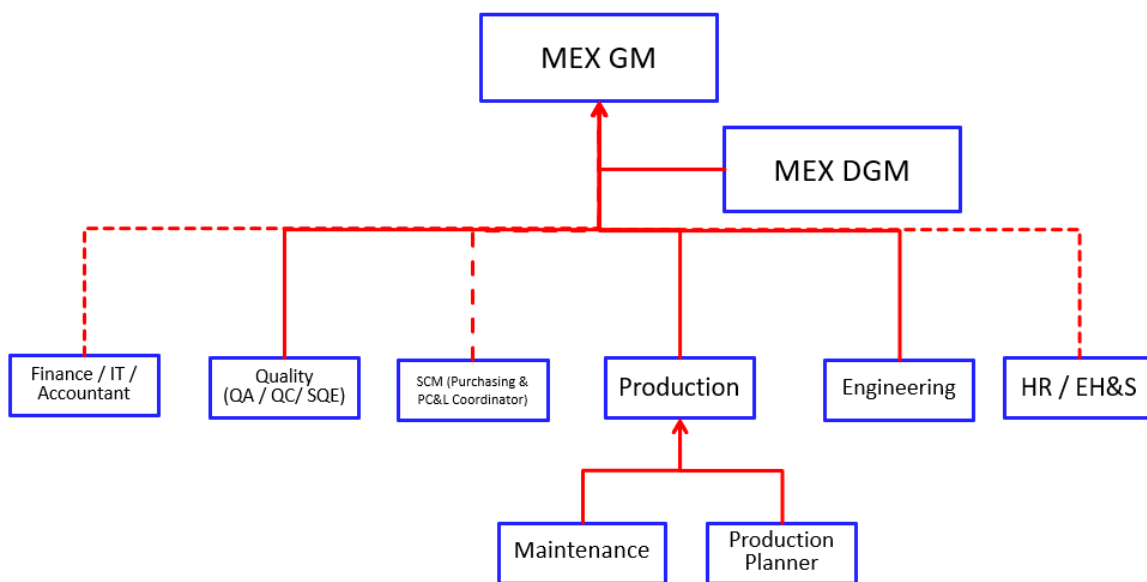


Figura 17. Organigrama general.

Elaboración propia.

En la Figura 18, se observa el desglose del departamento de Manufactura, sus funciones y responsabilidades y de aquí desatamos el área de pintura.

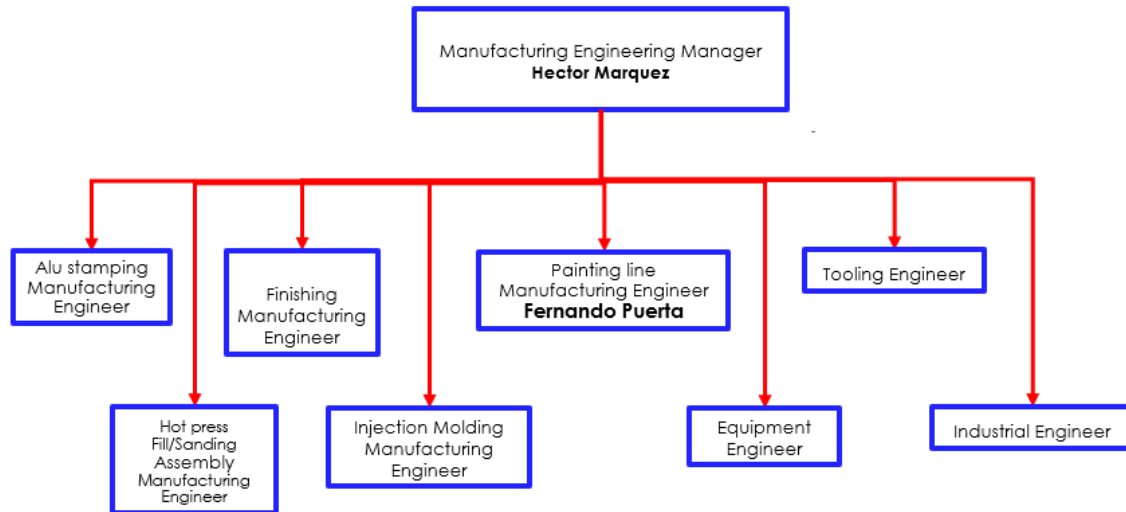


Figura 18. Organigrama de Ingeniería.
Elaboración propia.

Tener nuestro equipo bien definido permitió que cada uno de los proyectos se empezara a desenvolver debidamente sin premuras y sin contratiempos. Como responsable de la línea de pintura se encuentra Fernando Puerta y como supervisor y asesor de este proyecto tenemos a Héctor Márquez.

4.1.2 Necesidades del proyecto

Las necesidades para este proyecto fueron:

- a) Llegada de equipos y personal de soporte (4 batch's):
 - a. Instalación de línea.
 - b. Capacitación de seguridad al personal del proveedor.
 - c. Pruebas iniciales.
 - d. Liberación de equipos.
 - e. Arranque de línea.
 - f. Validación de proceso y liberación del ensamble pintado "Door Panel LH + RH", "Instrumental Panel", "Z-vent Panel".
 - g. Puesta a punto.

- h. Documentación (DF, HOE, AV, CP, AMEF).
- i. Aprobación de apariencia.
- j. Run and rate report.
- k. Validación de proceso y liberación del ensamble pintado.
- l. Start of Production (SOP).

b) Expectativas y requerimiento de cliente y proceso:

- a. Iniciar el arranque de producción el 01 de febrero de 2021.
- b. Dar una producción de 5000 car-sets en la primera fase.
- c. Dar una producción de 10000 car-sets en la segunda fase.
- d. Cumplir con la capacidad anual que se muestra en la Tabla 1, la cual muestra la capacidad de la línea incluyendo el scrap, una eficiencia de la línea del 80% así como su incremento de producción año con año.

Tabla 1. Capacidad anual de línea de pintura.

Workdays	5										
shift_day	3										
hrs_shift	8										
Workwks_year	48										
						45%	87%	87%	87%	87%	
Part	Material	Cavity	CT	Scrap	OEE	2022	2023	2024	2025	2026	
IP	AL	4	75	10%	80%	7%	14%	14%	14%	14%	
IP	AL-EU	4	75	10%	80%	2%	2%	2%	2%	2%	
Z-vent	ALL	4	75	10%	80%	30%	60%	60%	60%	60%	
DP LH	AL	14	75	10%	80%	2%	4%	4%	4%	4%	
DP LH	AL-EU	14	75	10%	80%	1%	1%	1%	1%	1%	
DP RH	AL	14	75	10%	80%	2%	4%	4%	4%	4%	
DP RH	AL-EU	14	75	10%	80%	1%	1%	1%	1%	1%	

Elaboración propia.

- c) Líder de equipo: El proyecto fue liderado por un representante chino y por el Manager de ingeniería (Hector Marquez) quienes dieron la pauta de cada paso del proyecto.

d) Definición de roles:

- a. Representante Chino: Líder y comunicación por barrera de lenguaje con proveedor chino.
- b. Manager de ingeniería (Hector Marquez): Administración y pauta del proyecto.
- c. Fernando Puerta: responsable del proceso, pruebas, documentación y arranque de la línea de pintura.
- d. Mantenimiento y Equipos: Responsables de dar soporte a la descarga e instalación de las maquinas, además de generar la documentación para el control de dicha maquinaria, herramientas y refacciones.

e) Responsabilidades de cada área:

- a. Manager: comunicar los objetivos del equipo y anunciar las responsabilidades de cada empleado en su departamento.
- b. Program Manager: administrar los proyectos e interactuar con varios equipos que realizan proyectos vinculados a los suyos, pero no necesariamente los administra.
- c. Calidad: encargado de que la documentación esté en regla además de realizar los análisis de riesgo y la gestión de los programas de inspección de la calidad.
- d. Procesos: Definir, analizar y mejorar los procesos de fabricación; Intervenir en la planificación de la producción; definir y controlar los tiempos de producción de los procesos de fabricación; colaboración con el departamento de calidad para garantizar la misma en los productos fabricados.
- e. Mantenimiento y Equipo: Mantener, reparar y revisar los equipos e instalaciones; modificar, instalar, remover equipos e instalaciones; elaboración de pedidos de materiales y repuestos; suministrar al

personal los materiales y equipos necesarios para realizar las tareas asignadas.

- f. Producción: Fabricación del producto, analizar los productos o servicios, controlar inventarios, la calidad.
- f) Identificación del proceso: El proceso fue compuesto por los siguientes pasos como se ve en la Figura 19.



Figura 19. Proceso general de la línea de pintura.

Elaboración propia.

- g) Métodos de documentación: La documentación fue controlada por un responsable de control de documentos, un aprobador del documento, una revisión con el equipo multidisciplinario y su elaboración. Todos los documentos fueron basados en el APQP, y llevaron un grado de prioridad:
 - a. Prioridad 1: Diagrama de flujo.
 - b. Prioridad 2: PFMEA.
 - c. Prioridad 3: Control Plan.
 - d. Prioridad 4: Hoja de Operación Estándar.
 - e. Prioridad 5: Ayudas Visuales.

4.1.3 Expectativa y requerimiento del cliente

Para nuestro proyecto nuestras expectativas fueron las siguientes:

- a) Para la parte de gastos puedes ver el siguiente diagrama de Gantt en el cual se observan los equipos necesarios a instalar, herramientas a usar, así como las facilidades generales, la curva de arranque, pruebas y definición de encargados de las modificaciones e instalación de la línea.

El diagrama de Gantt fue dividido en cuatro fases las cuales son especificadas en las siguientes tablas

- a. Fase 1. Tabla 2. Esta fase menciona el arribo de los instaladores realizando funciones de descarga de maquinaria y equipamiento, así como el inicio de marcado de piso y posicionamiento de algunas máquinas.
- b. Fase 2. Tabla 3. Esta fase habla acerca del armado de toda la estructura de la línea, así como la instalación de la tubería.
- c. Fase 3. Tabla 4. Esta fase menciona toda la instalación eléctrica en cada una de sus zonas, así como el recubrimiento de toda la tubería.
- d. Fase 4. Tabla 5. Esta fase incluye las fechas de entrega de la instalación y funcionamiento de la línea.

Tabla 2. Gantt Fase 1 de línea de pintura / posicionamiento de maquinaria.

Nombre del equipo	Fecha de inicio	Fecha de finalización	2021年10月				2021年11月
			S1	S2	S3	S4	S1
Llegada de trabajadores	10/10/2021	10/14/2021					
Descarga del primer lote de 6 contenedores y posicionamiento	10/15/2021	10/16/2021					
Plataforma de estructura de acero	10/17/2021	10/26/2021					
Gabinete de pretratamiento preinstalado y gabinete de cortina de agua	10/17/2021	10/22/2021					
Horno de imprimación (incluidos los conductos de aire internos y externos)	10/27/2021	11/5/2021					
Horno de capa superior (incluidos los conductos de aire internos y externos)	10/23/2021	11/3/2021					
Descarga del segundo lote de 6 contenedores	10/30/2021	11/2/2021					
Posicionamiento e instalación de robots	11/6/2021	11/8/2021					
Instalación de gabinetes y chasis de transporte, rieles	11/6/2021	11/8/2021					

Elaboración propia.

Tabla 3. Gantt Fase 2 de línea de pintura / Instalación de paneles de color, mamparas de vidrio, conductos de aire.

Nombre del equipo	Fecha de inicio	Fecha de finalización	2021年11月			2021年12月				
			S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
Instalación de placas	11/9/2021	11/29/2021								
Instalación de placa patio de suministro de aire, sección de transición de transporte										
Descarga del tercer lote (carro, cámara de combustión, 2KS, filtro de algodón, tubería de CO2)	11/27/2021	11/30/2021								
Instalación de la cabina eólica y el ventilador.	11/29/2021	12/3/2021								
Instalación de tuberías de fluidos	11/20/2021	11/30/2021								
Instalación de conductos de aire principales para suministro y extracción	11/29/2021	12/29/2021								

Elaboración propia.

Tabla 4. Gantt Fase 3 de línea de pintura / Instalación tuberías, puertas y ventanas.

Nombre del equipo	Fecha de inicio	Fecha de finalización	2021年11月				2021年12月			
			S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Tendido de todo el cableado interno	11/25/2021	12/29/2021								
Instalación de iluminación, interruptor de control, instalación de interruptor de control eléctrico										
Interruptor de control eléctrico de transporte, gabinete eléctrico, disposición eléctrica fuerte y débil										
Producción e instalación de puertas y ventanas	11/5/2021	11/20/2021								
Tráquea del compresor de aire	12/3/2021	12/30/2021								
Instalación de tubería de nieve, tubería TEDA										
Tubería de entrada y drenaje										
Suelo auxiliar de PVC, suelo de acero inoxidable										
Instalar barandilla										

Elaboración propia.

Tabla 5. Gantt Fase 4 de línea de pintura / Detalles de acabado y puesta en marcha.

Nombre del equipo	Fecha de inicio	Fecha de finalización	2022年1月			
			S1	S2	S3	S4
detalles generales	12/30/2021	1/10/2022				
regresó a China		1/10/2022				
Depuración con máquina	1/10/2022	1/30/2022				

Elaboración propia.

El volumen de producción mensual para el año 2022 es el indicado en la Tabla 6. En esta tabla las celdas de color gris conforman la línea de pintura. Un car-set de la línea de pintura conforma un modelo Z-VENT, un modelo DPRH, un DPLH y un IP.

Tabla 6. Volumen de producción 2022.

Surface	Material	Rate	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ALL	ALL	100%	1000	5000	10000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	40000	40000
OPO	WD	76%	760	3800	7600	15200	15200	15200	15200	15200	15200	15200	30400	30400
Ceramic	AL	24%	240	1200	2400	4800	4800	4800	4800	4800	4800	4800	9600	9600
Ceramic	AL-EU	100%	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600

Elaboración propia.

Los tiempos preliminares para nuestra línea de pintura fueron los siguientes:

- a) Carga: <60 seg.
- b) Descarga: <60 seg.
- c) Pruebas: <15 min.
- d) Empaque: <10 min.
- e) Surtido de materiales: <10 min.
- f) Horas/minutos por unidad: <180 seg por car-set.
- g) Tiempo de control de calidad: <10 min.
- h) Función del operador:
- i) Producción: Cargar y descargar de piezas.
- j) Empaque.
- k) Surtido de materiales.

Estos tiempos fueron ajustados conforme el avance del arranque de la línea.

Toda la información se almaceno en una instrucción de trabajo para que el operador conozca de su operación y el tiempo promedio por operación.

4.1.4 Revisión de especificaciones y funcionalidades

Enseguida se muestran cada una de las especificaciones y funciones dadas por el cliente.

- a) En la siguiente Figura 20, podemos ver la pieza prototipo, la cual fue suministrada por el cliente, para así poder usarla como pieza muestra o maestra.

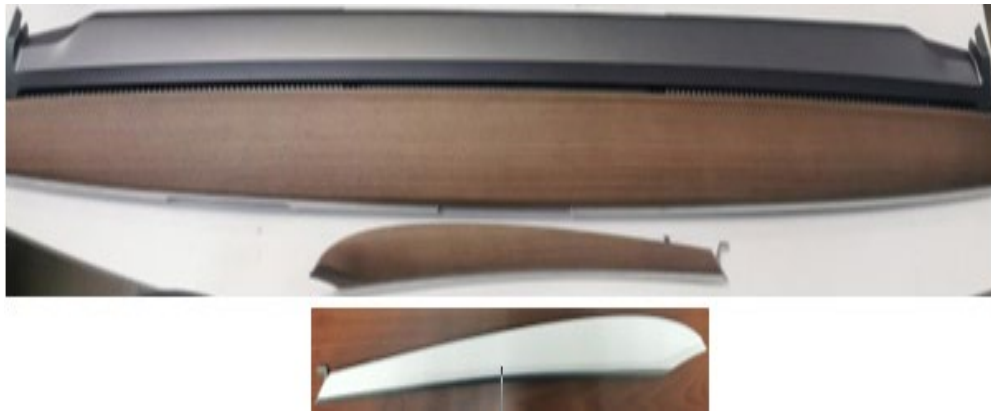


Figura 20. Piezas prototipo.
Elaboración propia

- b) Listado de materiales, con cantidades de uso y número de parte, también conocido como "BOM" (*Bill Of Materials*). Enseguida se enlistan cada BOM de cada número de parte a producir en la línea de pintura:
- Tabla 7. Esta tabla nos muestra todo el despiece del modelo IP y cada uno de sus componentes que lo conforman, las partes marcadas en negro son las partes principales y de ahí se deriva su materia prima para cada parte.
 - Tabla 8. Door Panel (DP) RH & LH. Esta tabla nos muestra todo el despiece de los modelos DP RH Y LH y cada uno de sus componentes que lo conforman, las partes marcadas en negro son las partes principales y de ahí se deriva su materia prima para cada parte.
 - Para el Z-vent esta parte es un subensamble dentro del IP.

Tabla 7. Listado de materiales BOM IP.

ITEM NUMBER	PART DESCRIPTION	QTY	UNIT
IN00251833	MY-SP IP LHD DECOR ASY ALUMINUM	1	piece
IN00251834	MY-SP IP Z-VENT PAINTED	1	piece
IN00251836	MY-SP IP Z-VENT INJECTION	1	piece
IN00251733	RESIN PC+ABS/T85X	878	grams
IN00251700	BASECOAT 990-17	40	grams
IN00251709	CLEARCOAT 462-8A	40	grams
IN00251715	HARDENER 450	13	grams
IN00251740	THINNER 903-99	32	grams
IN00251739	THINNER 902-1F	24	grams
IN00251714	HARDENER 405-83	6	grams
IN00251837	MY-SP IP PAINTED CERAMIC WHITE	1	piece
IN00251697	ALCO SP TSL-KRN-39-AL	48	grams
IN00251695	ALCO SP NO.2 HARDENER	10	grams
IN00251696	ALCO SP THINNER NO.203	24	grams
IN00251707	CERAMIC CLEAR NO.817B-18	40	grams
IN00251726	PAPILESS HARDENER NO.100	8	grams
IN00251742	URETHANE THINNER HI	28	grams
IN00251838	MY-SP IP MILLED CERAMIC WHITE	1	piece
IN00251839	MY-SP IP BACK INJECTION CERAMIC WHITE	1	piece
IN00251732	RESIN PC/ABS-GF20	688	grams
IN00251840	MY-SP IP STAMPED ALU SHEET	1	piece
IN00251698	ALUMINUM SHEET 1500X457X0.8MM	0	piece
IN00251754	Z VENT SEAL REAR 1390X5X5MM	1	piece
IN00251753	Z VENT SEAL FRONT 243X6X6MM	2	piece
IN00251752	Z VENT SEAL CENTRAL 124X5X5MM	2	piece
IN00251741	U-CLIP 11.7X6.8MM STLZN	4	piece
IN00251727	PEARL COTTON SHEET 1435X1105MM	0	piece
IN00251705	CARTON LAYER SHEET 1435X1100MM	0	piece
IN00251736	STRAP	1	meters
IN00251722	MY-SP IP LHD BRIGHT STRIP RH	1	piece
IN00251721	MY-SP IP LHD BRIGHT STRIP LH	1	piece

Elaboración propia.

Tabla 8. Listado de materiales BOM DP RH & LH, con desglose.

ITEM NUMBER	PART DESCRIPTION	QTY	UNIT
IN00251846	MY-SP DR TR WHITE DECOR ASY FR RH	1	piece
IN00251847	MY-SP DP PAINTED CERAMIC WHITE RH	1	piece
IN00251697	ALCO SP TSL-KRN-39-AL	20	grams
IN00251695	ALCO SP NO.2 HARDENER	4	grams
IN00251696	ALCO SP THINNER NO.203	10	grams
IN00251707	CERAMIC CLEAR NO.817B-18	17	grams
IN00251726	PAPILESS HARDENER NO.100	3	grams
IN00251742	URETHANE THINNER HI	12	grams
IN00251848	MY-SP DP MILLED CERAMIC WHITE RH	1	piece
IN00251849	MY-SP DP BACK INJECTION CERAMIC WHITE RH	1	piece
IN00251732	RESIN PC/ABS-GF20	132	grams
IN00251850	MY-SP DP STAMPED ALU SHEET RH	1	piece
IN00251699	ALUMINUN SHEET 610X457X0.8MM	0	piece
IN00251719	MY-SP DR TR CHROME STRIP FR RH	1	piece
IN00251710	EPE PROTECTION PAD 550X200X50MM	0	piece
IN00251729	PROTECTIVE CORNER GUARD	0	piece
IN00251736	STRAP	1	meters
IN00251711	FOAM BAG 650X120X0.5MM	1	piece
IN00251706	CARTON LINER 750X550X3MM	0	piece

Elaboración propia.

c) Enseguida se describen y se muestran los dibujos 3D de las piezas mencionadas anteriormente en el BOM, así como el empaque donde será puestas estas piezas para su envío a cliente:

- a. Dibujo 3D de la pieza DP RH & LH. Ver Figura 21.
- b. Dibujo 3D de la pieza Z-Vent. Ver Figura 22.
- c. Dibujo 3D de la pieza IP. Ver Figura 23.

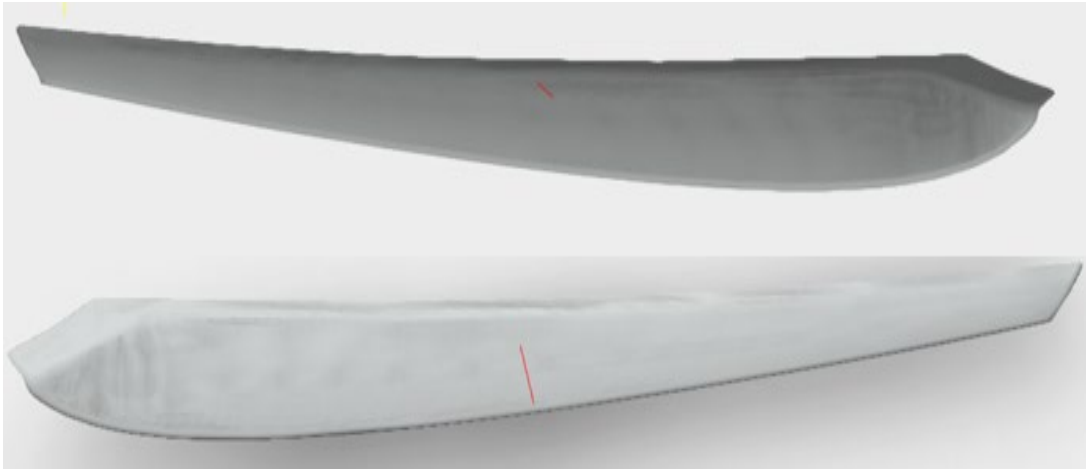


Figura 21. Dibujo DP RH & LH.
Elaboración propia.

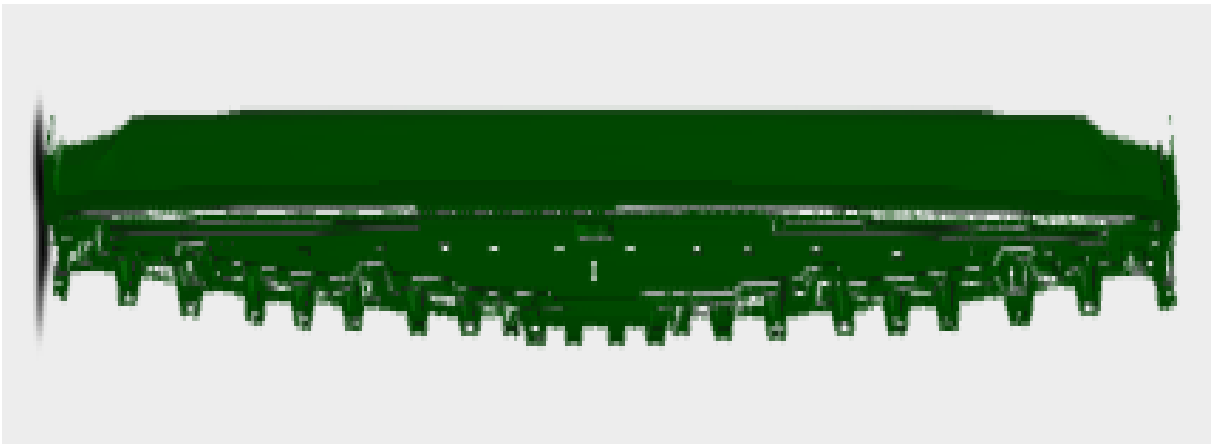


Figura 22. Dibujo Z-Vent.
Elaboración propia.



Figura 23. Dibujo IP.
Elaboración propia.

d) Especificaciones de maquinaria, seguridad y medio ambiente:

- a. Medio ambiente: +10°C por 40% humedad (R.H.) en invierno y +35°C por 80% humedad (R.H.) en verano.

- b. Energía, 480V/60 Hz/ 3PH / 5 alambres.
 - c. Que la línea de Pintura este dentro de la norma ISO14644-1.
 - d. Aire comprimido con una presión de 8 - 9 bar.
 - e. Agua residual clase 30,88 g/m³.
 - f. Agua caliente a 70°C / 85°C.
 - g. Agua fría a 7°C / 12°C.
- e) Especificaciones de pruebas:
- a. Tiempo ciclo entre conveyors 60 seg.
 - b. Tiempo ciclo de pintado 80 seg.
 - c. Velocidad del conveyor 60 seg/conveyor.
- f) Especificaciones de producción:
- a. Producción flexible para evitar paros innecesarios.
- g) Especificaciones de calidad:
- a. El requisito de calidad de las piezas de la línea de pintura es que la primera tasa de falla de las partículas de las piezas y artículos diversos causada por el cuerpo de la línea sea inferior al 5% (*First Pass Yield*).
 - b. Los equipos que no pertenecen a la línea de producción no están incluidos en la tasa de defectos (material, pintura, contaminación de las herramientas de pulverización).
 - c. Especificaciones PVT (*Production Validation Testing*). Ver Tabla 9. En esta tabla observamos la mención de los elementos de prueba, los tipos de procedimiento, que estándar usar y que cantidades de muestra deben realizarse a las piezas para la prueba de validación de la parte.

Tabla 9. Especificaciones PVT.

Elemento de prueba	Procedimiento / Estándar	Cantidad de muestra	Duración (días)
Adhesión	ISO 2409	3	1
Resistencia al rayado	Punta ISO 1518, 10N \varnothing 0,75 mm	3	1
Resistencia a la humedad + Adhesión	ISO 6270-2 CH 240h	3	10
Resistencia a la humedad + Resistencia al rayado	ISO 6270-2 CH 240h	3	10
Envejecimiento climático dinámico + evaluación visual	TP-0000706 Módulo I	3	10
Envejecimiento climático dinámico + Adhesión [3.5.1]	TP-0000706 Módulo I	3	10
Envejecimiento climático dinámico + Resistencia al rayado [3.5.2]	TP-0000706 Módulo I	3	10
Envejecimiento por calor + evaluación visual	TP-0000706 Módulo II	3	10
Envejecimiento por calor + Adhesión [3.5.1]	TP-0000706 Módulo II	3	10
Envejecimiento por calor + Resistencia al rayado [3.5.2]	TP-0000706 Módulo II	3	10
Resistencia química + evaluación visual	TP-0000703 Método A - Prueba de deformación Método B - Prueba puntual	3	1
Resistencia química + Adhesión [3.5.1]	TP-0000703 Método A - Prueba de deformación Método B - Prueba puntual	3	1
Resistencia química + Resistencia al rayado [3.5.2]	TP-0000703 Método A - Prueba de deformación Método B - Prueba puntual	3	1
Resistencia al desgaste	DIN EN 60068-2-70 Carga: 5 N. Trayectoria de fricción: 10 mm. Tasa de reciprocidad: 1 golpe / s	3	1
Inflamabilidad	ISO 3795 2 mm de espesor	5	7

Elaboración propia.

Se propusieron las características de seguridad, economía, ahorro de energía y cumplir con los requisitos nacionales de seguridad y protección ambiental para la línea de pintura.

Con las piezas muestra, los dibujos, con el BOM desarrollado y teniendo algunas especificaciones de la maquinaria, para la identificación del producto, etiquetado, empaque, transportación, trazabilidad en base al BOM obtenido, se definieron propuestas con el equipo multidisciplinario.

4.1.5 Diagrama de flujo general

Se documentan dos diagramas de flujo, uno que es exclusivo para Door Panel izquierdo (LH) o derecho (RH), véase la Tabla 10 y otro diagrama para el Instrumental Panel véase la Tabla 11, en este diagrama entra el subensamble Z-vent.

En el diagrama de flujo podremos observar al personal que elabora, revisa y aprueba el diagrama de flujo, el modelo, número de parte, cliente, fecha de origen, modificación del documento, así como un historial de revisiones en caso de modificaciones.

En la estructura principal de nuestros diagramas de flujo contamos con el número de operación, el flujo representado simbólicamente para tener un panorama más visual, los números de parte según el BOM involucrados en cada uno de los procesos, si alguno de nuestros procesos lleva alguna característica especial según el requerimiento del cliente, que tipo de máquina tenemos en cada proceso y si alguna de estas máquinas y procesos cuenta con algún poka-yoke como método de prevención de fallas.

Tabla 10. Diagrama de flujo DP LH & RH.

MY-SP DR TR WHITE DECOR ASY FR RH / LH			
0100		Goods receipt	
0105		Incoming inspection	
1200		Blanking	IN00251699
1205		Stretch	
1210		Side cutting, punching	
1215		Washing	
1220		Blanking, Stretch, Side cutting & punching inspection	
0405		Aluminum shell back molding & Inspection	IN00251732
0600		Milling back molding shell	
1300		Paint Alu deco	IN00251697
			IN00251695
			IN00251696
			IN00251707
			IN00251726
0900		Welding Chrome	IN00251742
0915		Final Inspection	IN00251719
1000	Packing	IN00251710	
		IN00251729	
		IN00251736	
		IN00251711	
1100	Finish Good storage	IN00251706	

Elaboración propia.

Tabla 11. Diagrama de flujo IP (subensamble Z-vent).

MY-SP IP LHD DECOR ASY ALUMINUM			
0100		Goods receipt	
0105		Incoming inspection	
1200		Blanking	IN00251698
1205		Stretch	
1210		Side cutting, punching	
1215		Washing	
1220		Blanking, Stretch, Side cutting & punching inspection	
0405		Aluminum shell back molding	IN00251732
0600		Milling back molding shell	
1300		Paint Alu deco	IN00251697
			IN00251695
			IN00251696
			IN00251707
			IN00251726
0400		Z-vent Injection Molding	IN00251742
0500		Z- vent Painting	IN00251733
			IN00251700
	IN00251709		
	IN00251715		
	IN00251740		
0900	Welding #1 (Alu deco + chrome)	IN00251739	
0920	Welding #2 (Welding #1 + Z-Vent)	IN00251714	
0905	Place foams	IN00251837	
		IN00251721	
		IN00251722	
0910	Install U Clips	IN00251834	
0915	Final Inspection	IN00251754	
1000	Packing	IN00251753	
		IN00251752	
		IN00251741	
1100	Finish Good storage	IN00251727	
		IN00251705	
		IN00251736	

Elaboración propia.

4.1.6 Características especiales

Para nuestras características especiales se tomaron en cuenta las mostradas en nuestro PVT marcadas en la Tabla 9 además de considerar las siguientes en base a la experiencia propia de trabajos anteriores y de proyectos similares:

- a) Deformación.
- b) Producto rayado.
- c) Suciedad.
- d) Cráteres.
- e) Piel de naranja.
- f) Flacidez.
- g) Burbujas.
- h) Diferencia de color.
- i) Falta pintura.
- j) Manchas de agua.
- k) Agujeros.
- l) Quemado.
- m) Pintura cruda.

4.1.7 Mapeo de proceso

En el mapeo de proceso VSM mostrado en la Figura 24, se muestra el punto de partida para integrar en primera instancia al cliente con los procesos de la cadena de suministro, El VSM mostrado plasma la condición a la cual se desea llegar, en él se describen los flujos y partes del proceso de transformación manteniendo el objetivo de producción en una sola línea de producción.

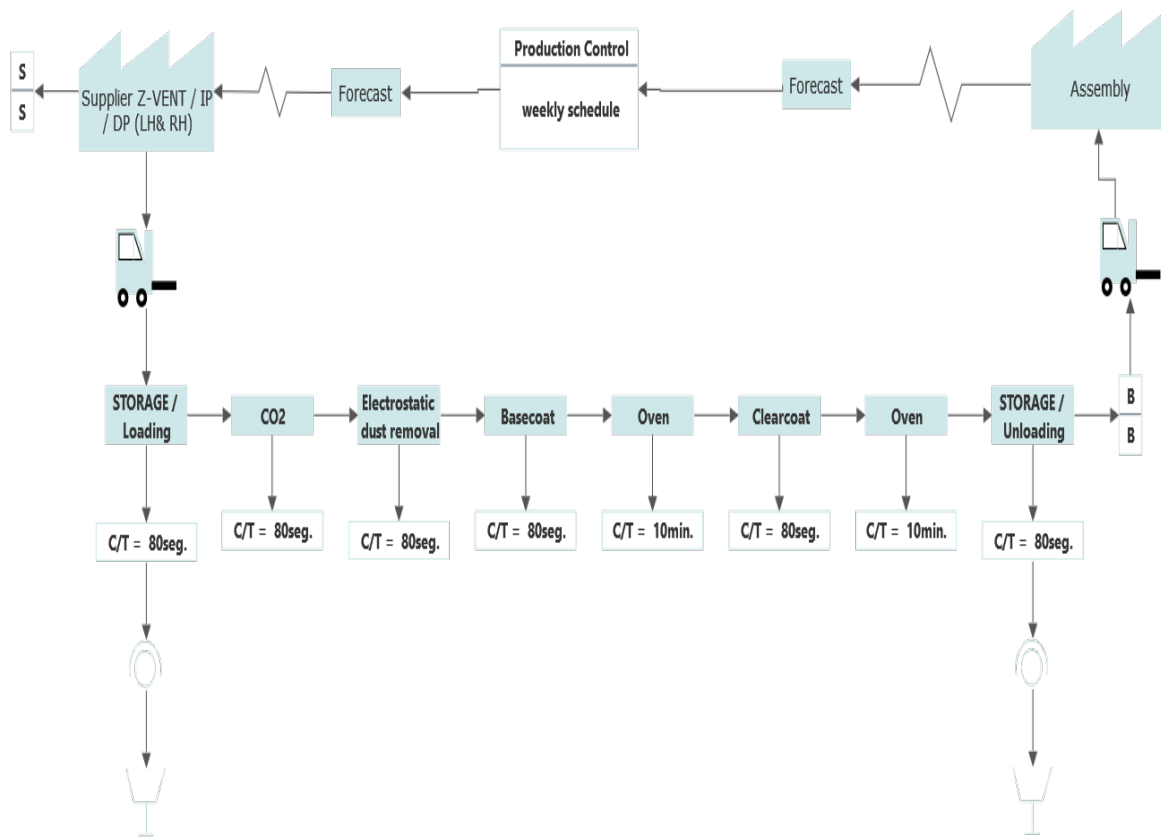


Figura 24. VSM Línea de pintura.
Elaboración propia.

4.2 DESARROLLO DEL PRODUCTO

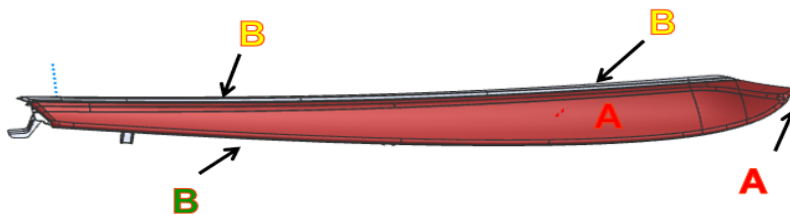
4.2.1. Especificaciones de ingeniería

En la Tabla 12, se observan los requerimientos de funcionalidad, durabilidad y apariencia del componente y en la Figura 25, se observa con detalle de manera visual cada una de estas. Todos estos requerimientos son puntos importantes que el cliente revisará de manera constante como métodos de validación durante la producción en masa, si no se llega a cumplir cada uno de estos será un motivo de rechazo del cliente e inclusive del usuario final.

Tabla 12. Requerimientos de apariencia del cliente.

El nombre del defecto	Zona A (pasajero puede ver directamente desde el asiento)	Zona B (pasajero no se puede ver directamente en el asiento)	Zona C (Los clientes no pueden o no pueden ser encontrados en un corto período de tiempo, no en el área visual)
Punto cóncavo	El diámetro $\leq 0,3$ mm, lo que permite 1 por cada 100 mm.	El diámetro $\leq 0,6$ mm, lo que permite 1 por cada 100 mm.	Aceptable
Protuberancias	No permitido	El diámetro $\leq 0,3$ mm, lo que permite 1 por cada 100 mm.	Aceptable
Puntos de grupo/cadena	No permitido	El diámetro es de 0,5 mm	Aceptable
		Más de un grupo o punto de cadena dentro es aceptable.	
Arañazos superficiales (arañazos suaves)	No se permiten arañazos de > 3 mm de longitud;	Los arañazos son aceptables en áreas donde el estado estacionario o la posición de carga no es visible	Aceptable
	Longitud ≤ 3 mm, ancho ≤ 0.10 mm permitido hasta 3.		
cabeza	Se requiere aplanamiento, lo que no afecte a la coincidencia.		
Falta de material	No afecta a la apariencia, no afecta a la función de carga se basa en el principio o la muestra límite.		
Miniatura, piel de naranja, marcas pulidas, bordes de grasa	Controlar la muestra de sello		
Los fenómenos indeseables no involucrados se estandarizan contra los límites de ingeniero de producto / ingeniero de calidad o específico de la apariencia del cliente.			

Elaboración propia.



Área A: El área visual en la parte frontal de la pieza
 Área B: La pieza se carga en el área debajo de la esquina R del soporte de instrumentos
 Zona C: el área antiestética después de cargar la pieza

Figura 25. Imagen detallada de cada zona de apariencia.

Elaboración propia.

4.2.2. Especificaciones de materiales

En las siguientes tablas se observa cada una de las especificaciones necesarias para que la calidad del producto cumpla con sus especificaciones dadas por el cliente.

Pintura en área de base. Tabla 13. Se muestra a que cantidades se deben mezclar cada componente, así como la viscosidad que debe tener después de ser mezclada en la primera capa de la pintura, también nos muestra que tiempo debe permanecer en secado al aire antes de ser ingresada a un horno, así como la temperatura del horno y el tiempo en este, también nos menciona con que espesor deberá contar la capa de pintura después de curada.

Pintura en área de clear. Tabla 14. Se muestra a que cantidades se deben mezclar cada componente, así como la viscosidad que debe tener después de ser mezclada en la segunda capa de la pintura, también nos muestra que tiempo debe permanecer en secado al aire antes de ser ingresada a un horno, así como la temperatura del horno y el tiempo en este, también nos menciona con que espesor deberá contar la capa de pintura después de curada.

Tabla 13. Especificaciones para la pintura en la capa base.

Mixing ratio (by weight)	Paint	100
	Hardener	20
	Thinner	40
Viscosity (Ford cup#4 / 25 deg. C)	13-17 sec	
Flash Time	5-10 minutes	
Cure	80 deegres C/ 30 minutes	
Film Thickness	25-30 μm	

Elaboración propia.

Tabla 14. Especificaciones para la pintura en la capa clear.

Mixing ratio (by weight)	Paint	100
	Hardener	20
	Thinner	120
Viscosity (Ford cup#4 / 25 deg. C)	12-15 sec	
Flash Time	5-10 minutes	
Cure	80 deegres C/ 30 minutes	
Film Thickness	28-34 μm	

Elaboración propia.

4.2.3. Requerimiento de equipos de prueba & gauges

En la Tabla 15, siguiente se enlistan los equipos necesarios para cada uno de los pasos del proceso, para así lograr la instalación correcta de la línea de pintura.

Tabla 15. Equipos por proceso.

Description		Model/Brand	Material	Pcs	
Air Conditioning System	Air conditioning units	Non-standard part	stainless steel. glass magnesium board	2	
				1	
				1	
Air Conditioning System	Hot and cold water pipe	TZ-Non-standard part	Carbon Steel and PVC	1	
	Air hose	TZ-Non-standard part	Galvanized sheet	1	
Zone compartment	Compartment (cooling + topcoat eveling + topcoat strong cooling + clean room)	TZ-Made in China	Stainless steel	1000	
	Air shower	Jinlida	Outsourcing	2	
	Steel platform	TZ-ANSTEE	Carbon steel support structure, platform board 3mm galvanized	540	
process booth	Primer spray booth	TZ-Non-standard part	rock wool board with a thickness of 50mm, Stainless steel with an internal thickness of 0.5mm, Color coated board with outer thickness of 0.475mm	1	
	Bace coat spray booth	TZ-Non-standard part		1	
	ION.	STAITIC	Outsourcing	1	
	ION. Booth	TZ-Non-standard part	body is made of SUS201# stainless steel with a thickness of 1.5mm, and it is formed by bending and assembling.	1	
	CO2 treatment booth			1	
	Primer drying room			N/A	1
	Bace coat drying			N/A	1
Automation and painting system	Robot system	MPX2600 Yaskawa	Outsourcing	2	
	Paint Supply System	TZ-Non-standard part	Graco pump	10	
	electric control system		N/A	1	
	Automatic mixing	Graco 2KS	Outsourcing	2	
	Co2 equipment	linde	Outsourcing	1	
	Co2 robot	GP25-12 Yaskawa	Outsourcing	1	
Conveyor system	Conveyor	TZ-Made in China	N/A	1	

Elaboración propia.

4.2.4. Requerimiento para gauges & equipos de prueba

En la siguiente Figura 26, se observa uno de los diseños prototipos de checking fixture, para garantizar el producto a procesar.

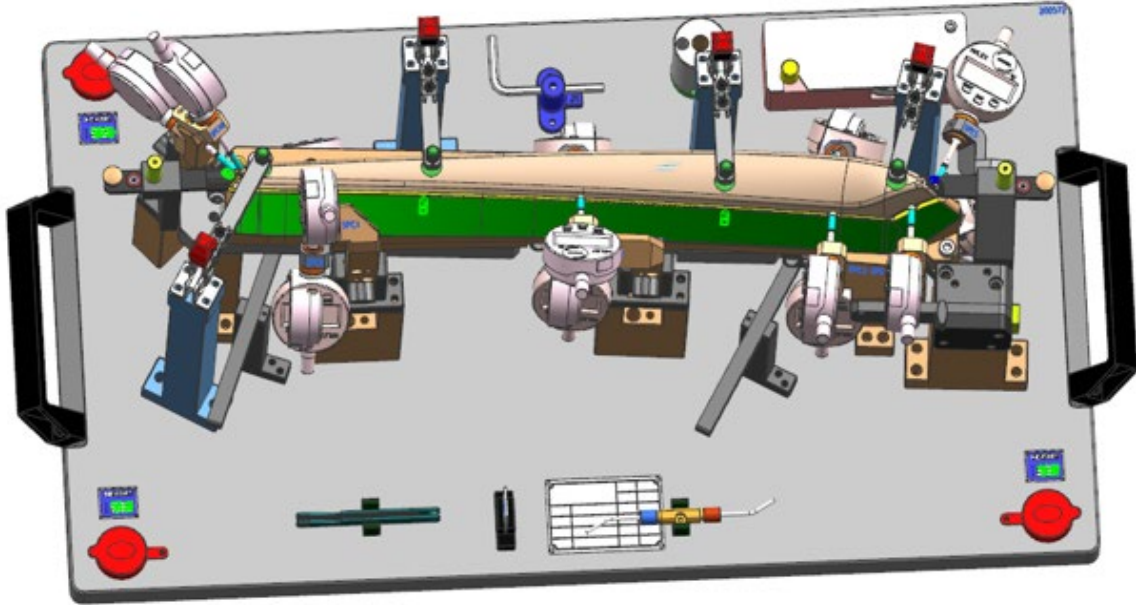


Figura 26. Checking fixture DP.

Elaboración propia.

En la siguiente Figura 27, se observa el diseño de fixture multifuncional propuesto para el ensamble de las piezas. En este primer diseño se detectó que el diseño era muy pesado además de que no se consideró la dimensión de la entrada del horno y el rango de la cámara de visión usada dentro de la línea por lo cual el nuevo requerimiento fue realizar un diseño de fixture con una dimensión de 1500 x 550 mm.

Al percatarse de esta nueva restricción se procedió a realizar otro diseño con los siguientes aspectos:

- a) La distancia de separación entre pieza y pieza para los modelos no. 3 y no. 4 debe ser de 200 mm.
- b) El modelo no. 2 se puede angular para poder agregar más de 2 piezas en un mismo fixture.
- c) El modelo no. 1 debe tener una separación de 500 mm.

Después de la retroalimentación y una extensa evaluación a cada una de las restricciones se definió realizar 3 fixtures distintos. La Figura 28, muestra el modelo IP en fusión con el modelo DP RH con la capacidad de poner 4 piezas del modelo IP y 14 piezas del modelo DP LH, la Figura 29, muestra el modelo Z-vent con la capacidad de poner 4 piezas y por último la Figura 30, muestra el modelo DP RH con la capacidad de 14 piezas. Después de ver cada modelo la Figura 31, muestra la prueba física de cada uno de los mencionados anteriormente.

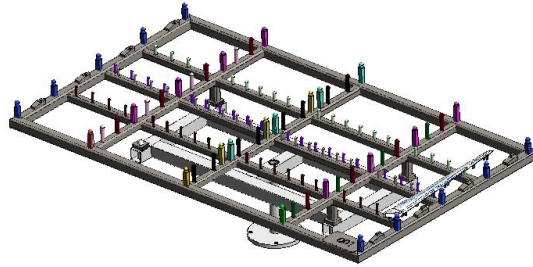


Figura 27. Diseño de fixture multifuncional para todos los modelos (DP RH, DP LH, IP, Z-vent).

Elaboración propia.

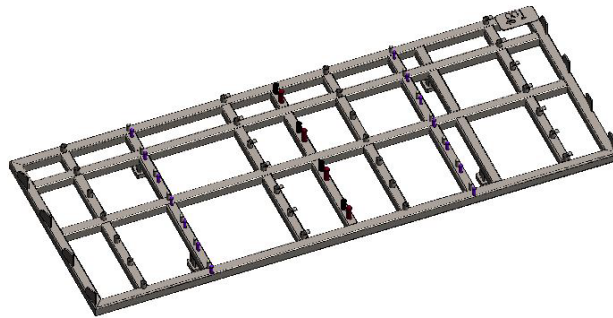


Figura 28. Fixture para modelo IP y DP LH.

Elaboración propia.



Figura 29. Fixture para modelo DP RH.

Elaboración propia.

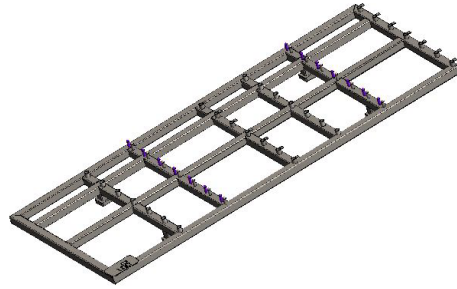


Figura 30. Fixture para modelo IP.

Elaboración propia.



Figura 31. Aprobación y prueba física de los tres fixtures usados en la línea.

Elaboración propia.

4.3 DESARROLLO

4.3.1. Especificación y norma de empaque

En la Figura 32, se observa la especificación de la norma de empaque para uno de los modelos a producir, se observa con el no. 1 la pieza, con el no. 2 el asentamiento de la pieza y con el no. 3 las patas de empaque. Este empaque es a base de polipropileno expandible.

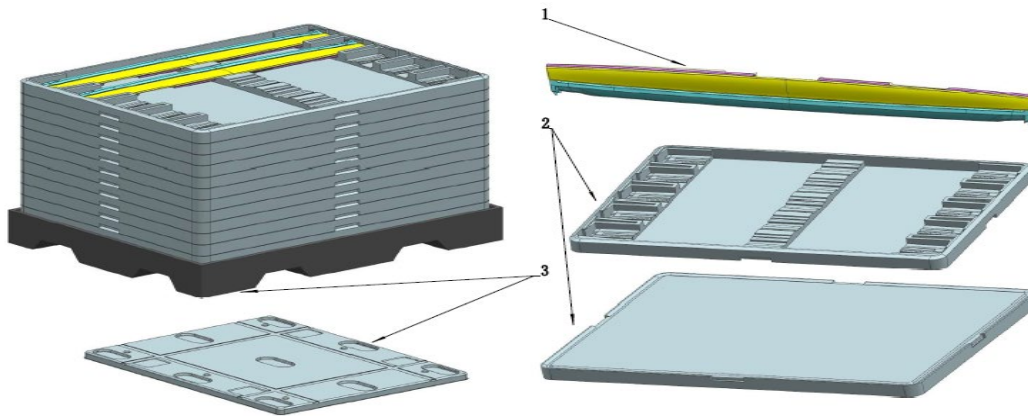


Figura 32. Norma de empaque de partes.

Elaboración propia.

4.3.2. Diagrama de flujo de proceso

Se desglosa cada etapa del proceso de la línea de pintado la cual indica el siguiente diagrama de flujo. Ver Tabla 16.

Tabla 16. Diagrama de flujo etapa por etapa línea de pintura.

0901		Load	IN00251834 IN00251837 IN00251847 IN00251842
0902		Electrostatic Cleaning	
0903		CO2 Cleaning	
0904		Primer Spraying	IN00251697 IN00251695 IN00251696 IN00251700 IN00251714 IN00251740
0905		Primer Flash Off	
0906		Primer Oven	
0907		Primer Cooling	
0908		Clear Coat Spraying	IN00251707 IN00251726 IN00251742 IN00251709 IN00251715 IN00251739
0909		Clear Coat Flash Off	
0910		Clear Coat Oven	
0911		Clear Coat Cooling	

0912		Unloading	
0913		WIP Storage	
0914		Inspection	

Elaboración propia.

4.3.3. Layout de secuencia de piso

En la Figura 33, se describe el flujo de la salida del material en la línea de pintura, podemos observar en color amarillo todo el flujo que llevan las piezas, en color verde donde el operador recibe el material ya terminado, en color azul la entrada de material, en color rojo la entrada y salida de material, desechos, trolleys. También observamos la ubicación en el layout tanto de la entrada como la salida del material, así como el área de inspección.

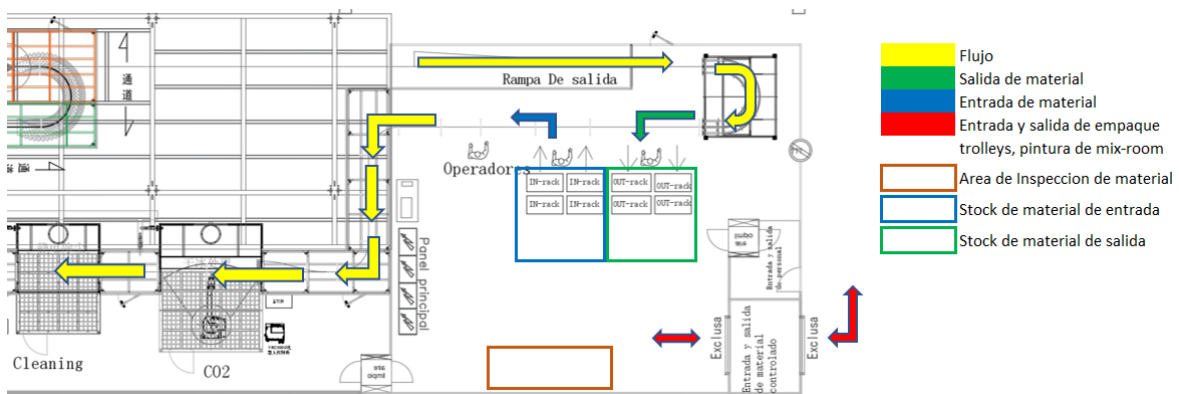


Figura 33. Flujo de entrada y salida de material.

Elaboración propia.

4.3.4. Análisis de Modo y Efecto de Falla del Proceso (AMEFP)

En la Tabla 17, se muestra solo un fragmento del PFMEA aprobado por el equipo multidisciplinario, el cual consiste en evidenciar puntos de riesgos importantes que pudieran afectar al cliente durante la producción en la línea de pintura.

Tabla 17. Fragmento del PFMEA Línea de pintura.

Process functional requirements	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Severity	Potential Causes(s) of Failure	Frequency Occurrence
Upload	Product don't match with fixtures	Some product scashed	5	Part surface crash the rack	2
			6	Operater don't know fixture	2
			6	Product or fixture marking lost or unclearly	2
	Fixture deformation	Product surface unqualified	5	Deformation in locator pins	3
	Product drouped off from racks	Partially product scraped and effect painting line	6	Product doesn't on correct position	2
			6	Structure damaged	2
Pre-treatment	Product surface have dirt	Some product scashed	6	Cleaning system goes into disorder	2
			6	CO2 empty	2
	Product scashed	Product surface unqualified	6	Product scrash with painting line	2
Paint application	Product surface with dirt	Some Product not qualified	6	Dirt in the booth	3
			6		3
			6	Operators preventdust messurement unqualified	3
			6	Painting system and pipe dirty	2
			6	Paint crystallization (particles)	2
			6		2
			6		2
			6	Large particles in the paint	2
6	2				

Elaboración propia.

4.3.5. Plan de control de prelanzamiento

En la Tabla 18, se muestra solo un fragmento del PFMEA aprobado por el equipo multidisciplinario, el cual muestra normas, parámetros y especificaciones importantes del proceso, lo cual ayuda a controlar y prevenir problemas dentro del producto.

Tabla 18. Fragmento del CP Línea de pintura.

Part/Process Number	Procedure Name / Operation Description	characteristic			method			
		Numbering	product	process	Product/Process	Evaluation/Test	sample	
					Specifications/Tolerances	quantitative technology	capacity	frequency
30	paint formulation	1	primer	paint viscosity	Primer: 13~15S/DIN4	Electronic scale (accuracy 5g)	1 time	1 time/2H
		2		Proportion	Primer: 39-AL:NO2:HI=100:20:45~65		Electronic scale (accuracy 5g)	1 time
		3		paint stirring	Stirring time is 15~30min	mixer, clock	1 time	1 time/2H
		1	topcoat	paint viscosity	Paint: 12~14S/DIN4	NK-4 Viscosity Cup, Stopwatch	1 time	1 time/2H
		2		Proportion	Top coat: NO.817:NO.100:HI=100:20:60~80	Electronic scale (accuracy 5g)	1 time	1 time/2H
		3		paint stirring	Stirring time is 15~30min	mixer, clock	1 time	1 time/2H
40	hang up				According to the hanging operation manual NHXR1683CZ01	Visual inspection	100%	continuous
50	degreased				According to the hanging operation manual NHXR1683CZ02	Visual inspection	100%	continuous
60	dry ice treatment				According to the operating instructions NHXR1683CZ03	Visual inspection	100%	First inspection, inspection

4.3.6. Parámetros de proceso

En base a la experiencia, revisión de fichas técnicas de los materiales (TDS), revisiones de los componentes de la pintura, e investigación con proveedores en el mismo ámbito, se determinaron los parámetros marcados en la Tabla 19, para el arranque de la línea.

Tabla 19. Parámetros primordiales iniciales de la línea de pintura.

	CO2	BASE COAT	BC OVEN	CLEAR COAT	CC OVEN
Temp.	24±4°C	24±4°C	45±5°C	24±4°C	83±2°C
Humidity	60±15%	60±15%	NA	60±15%	NA
Gun distance	20cm	20cm	NA	20cm	NA
Gun speed	1000/sec	NA	NA	NA	NA
Oven time	NA	NA	>30min	NA	10-15min
Spray pressure	NA	0.8-1.7bar	NA	1.1~5bar	NA
Thickness	NA	10-20um	NA	25-35um	NA
Backflow pressure	NA	1.5±0.5bar	NA	1.5±0.5bar	NA

Elaboración propia.

4.4 VALIDACIÓN DEL PRODUCTO-PROCESO

Esta etapa de nuestro proyecto muestra la evidencia de la validación del proceso tanto como en la simulación como en la realidad.

4.4.1. Simulación de producción

Se realizó una simulación detallada usando el software FlexSim, para tener datos como:

- Tiempo de llegada de material.
- Tiempo de salida de material.
- Cantidad de racks por hora.
- El uso del área operativa.
- Lugar de carga y descarga.

- f) Evaluación de distancia recorrida de operación.
- g) Determinar cuántos racks deben estar llegando de cualquier modelo a la entrada de la línea para que esta no pare.

El flujo que se siguió en la simulación fue el siguiente: carga del layout, construcción de los elementos, construcción de las partes, estaciones de trabajo, carga de operadores, asignación de actividades y declaración de procesos.

En la Figura 34, se observa cada etapa de los procesos para poder pintar un producto, en ellas se puede observar cada uno de los subprocesos, que abarcan desde carga y descarga, aplicación de CO₂, ionizado, aplicación de primer, horneado de primer, aplicación de top coat, horno de top coat y por último la descarga de las partes.

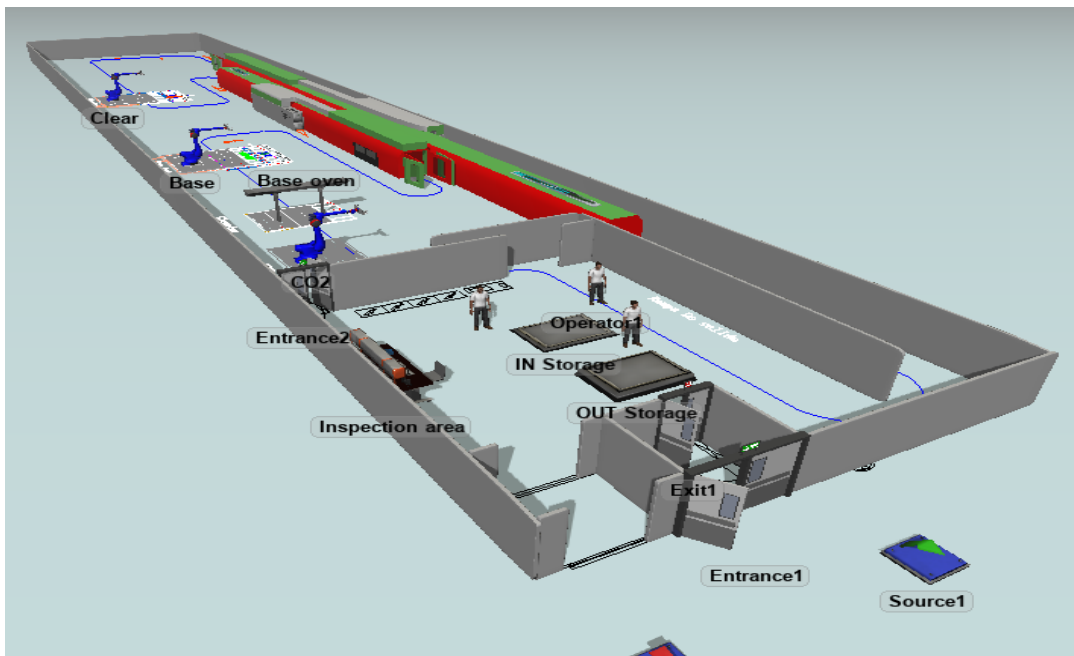


Figura 34. Planta de Pintura proceso por proceso cargado en simulador.

Elaboración propia.

En base a la información que se dio por las áreas que suministrarán la línea, estas son las cantidades por rack por modelo que llegarán a la planta:

- a) Rack IP – 60 piezas por trolley, 5 piezas por rack por 12 niveles / Recepción de trolley uno cada 2.1 hr.

- b) Rack DP RH – 56 piezas por trolley, 8 piezas por rack por 7 niveles / Recepción de trolley uno cada 1.5 hr.
- c) Rack DP LH – 56 piezas por trolley, 8 piezas por rack por 7 niveles / Recepción de trolley uno cada 1.5 hr.
- d) Rack Z-vent – 60 piezas por trolley, 5 piezas por pallet por 12 niveles / Recepción de trolley uno cada 1.4 hr.

En base a la norma de empaque las siguientes cantidades por pallet son las que tendrá la salida de la línea:

- a) Pallet IP – 5 piezas por pallet.
- b) Pallet DP RH – 6 piezas por pallet.
- c) Pallet DP LH – 6 piezas por pallet.
- d) Pallet Z-vent – 5 piezas por pallet.

Los porcentajes de producción y asignación de datos para fines de simulación fueron los siguientes:

- a) Azul – Z-vent – Type.1 – 50% de producción.
- b) Rojo – IP – Type.2 – 30% de producción.
- c) Gris – DP RH – Type.3 – 10% de producción.
- d) Blanco – DP LH – Type.4 - 10% de producción.

Después de la carga de datos y demás aspectos físicos, se procedió con la simulación de una semana de producción con dos turnos de trabajo obteniendo los siguientes resultados mostrados en la Tabla 20 donde se puede observar el resultado de una producción de 19480 car sets por semana, equivalentes a 27851 piezas totales y en la Figura 35, se observan los mismos resultados de la simulación:

Tabla 20. Resultados de simulación de la línea de pintura.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	RESULTADOS OBTENIDOS
Operadores utilizados	3
Modelos	4
Porcentaje de producción por piezas	50% Pieza 1_z-vent
	30% Pieza 2_IP
	10% Pieza 3_DP RH
	10% Pieza 4_DP LH
Cantidad de piezas por pallet a la entrada de la línea	5 Pieza 1_z-vent
	5 Pieza 2_IP
	6 Pieza 3_DP RH
	6 Pieza 4_DP LH
Producción promedio semanal	13365 Pieza 1_z-vent
	7880 Pieza 2_IP
	3342 Pieza 3_DP RH
	3264 Pieza 4_DP LH
Producción promedio por hora	111 Pieza 1_z-vent
	66 Pieza 2_IP
	28 Pieza 3_DP RH
	27 Pieza 4_DP LH
Conveyors/fixtures promedio por hora	58 racks
Conveyors/fixtures promedio por semana	6963 racks
Velocidad del conveyor	50 mm/seg
Distancia entre conveyors	1.75 metros
Distancia promedio recorrida por operador #1 en una semana (Entrada de material a la línea)	85 km
Distancia promedio recorrida por operador #2 en una semana (Salida de material a la línea)	85 km
Distancia promedio recorrida por operador #3 en una semana (Surtido de material para carga y descarga)	153 km
Eficiencia de entrega de material a la entrada de la línea por CNC e Inyección	70%

Elaboración propia.

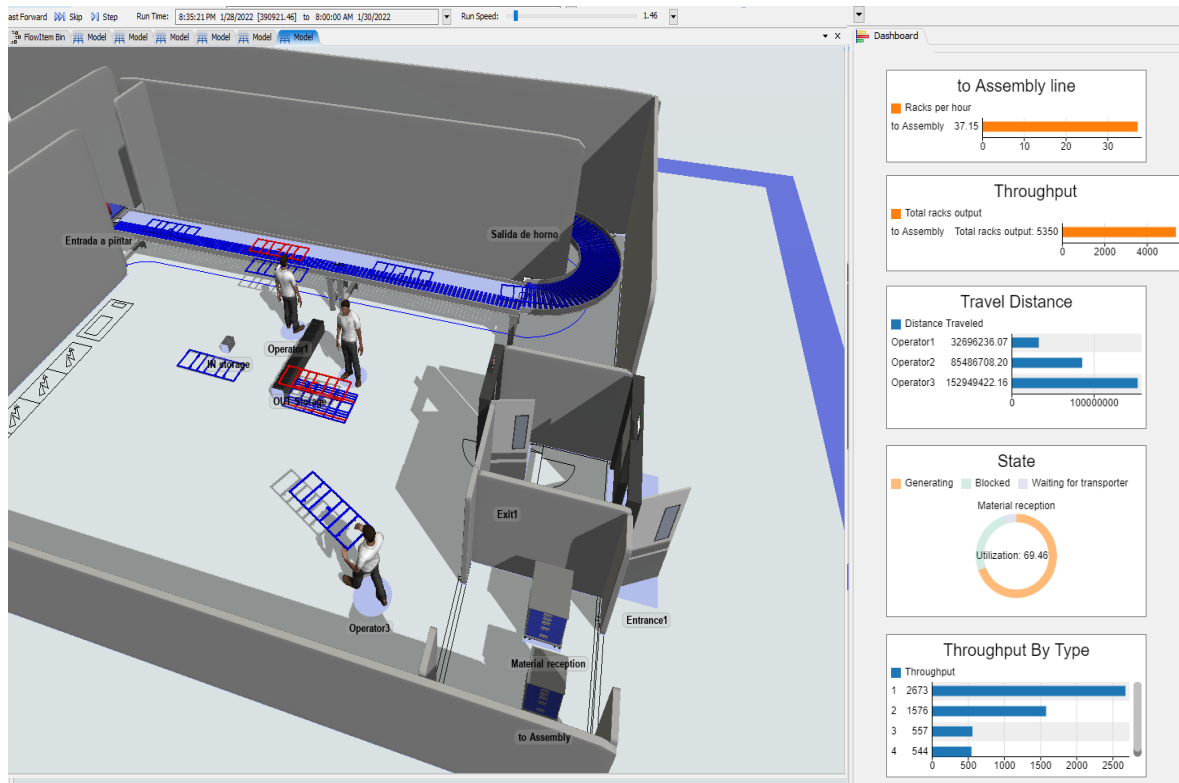


Figura 35. Resultados de simulación de la Planta de Pintura en una semana de producción con dos turnos.
Elaboración propia.

Observando los resultados de la simulación se concluyó que en base a la simulación los datos obtenidos son factibles de acuerdo con la hipótesis planteada al inicio del proyecto.

4.4.2. Corrida y pruebas de validación de producción significativa

Para esta etapa del proyecto se realizaron varias corridas de ingeniería para corroborar el correcto funcionamiento de la línea además de lograr demostrar los resultados contra los objetivos planteados al inicio del proyecto. En la Tabla 21 se observa la comparativa de resultados hipótesis de la simulación contra lo real. Observando que en la simulación se aprecian 13365 car sets contra 10000 de la corrida de producción.

Tabla 21. Comparativo hipótesis, simulación y real.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	Hipótesis	RESULTADOS OBTENIDOS SIMULACIÓN	RESULTADOS OBTENIDOS CORRIDA DE PRODUCCIÓN
Operadores utilizados	2	3	3
Modelos	4	4	4
Porcentaje de producción por piezas	70%	50%	50% Pieza 1_z-vent
	20%	30%	30% Pieza 2_IP
	5%	10%	10% Pieza 3_DP RH
	5%	10%	10% Pieza 4_DP LH
Cantidad de piezas por pallet a la entrada de la línea	5	5	5 Pieza 1_z-vent
	5	5	5 Pieza 2_IP
	6	6	6 Pieza 3_DP RH
	6	6	6 Pieza 4_DP LH
Producción promedio semanal	10000	13365	10000 Pieza 1_z-vent
	2400	7880	2400 Pieza 2_IP
	2400	3342	2400 Pieza 3_DP RH
	2400	3264	2400 Pieza 4_DP LH
Producción promedio por hora	133	111	83 Pieza 1_z-vent
	38	66	20 Pieza 2_IP
	11	28	20 Pieza 3_DP RH
	11	27	20 Pieza 4_DP LH
Conveyors/fixtures promedio por hora	-	58	36 racks
Conveyors/fixtures promedio por semana	-	6962.75	4300 racks
Velocidad del convector	-	50	50 mm/seg
Distancia entre conveyors	-	1.75	1.75 metros
Distancia promedio recorrida por operador #1 en una semana (Entrada de material a la línea)	-	85	75 km
Distancia promedio recorrida por operador #2 en una semana (Salida de material a la línea)	-	85	74 km

Distancia promedio recorrida por operador #3 en una semana (Surtido de material para carga y descarga)	-	153	113 km
Eficiencia de entrega de material a la entrada de la línea por CNC e Inyección	-	70%	63%

Elaboración propia.

Interpretando los datos de producción de la Tabla 21, se realizaron una serie de conclusiones:

- a) Apegarse a la realidad en la simulación es complicado ya que hay aspectos y/o variables difíciles de determinar, los cuales son:
 - a. SCRAP.
 - b. Paros programados por mantenimiento.
 - c. Fallas de equipo (robots, transportador, hornos).
 - d. Paros programados por producción.
 - e. Días festivos.
 - f. Paros por pruebas de ingeniería.
 - g. Mini paros ocasionados por la secuencia lógica de la línea.
- b) Si bien el requerimiento es de 10k car-sets semanales equivalentes a piezas buenas se necesitó producir más para solventar el scrap puro de la línea + el scrap de procesos subsecuentes, sabiendo que la línea tiene una capacidad al 87% (mencionada en la Tabla 1) se usó un 10% más para cubrir scrap, fallas, paros programados.

Al término de la corrida de ingeniería se cumplieron las siguientes expectativas:

- a) Plan de control.
- b) FMEA (AMEF).
- c) Ayudas visuales de puntos críticos.
- d) Instrucciones de trabajo (recibos de material, estaciones, etiquetado).
- e) Planes de calibración.
- f) Plan de mantenimiento.
- g) Hoja viajera.

De la Figura 36 a la Figura 42, se observan algunas fotos de evidencia cumpliendo las expectativas:

- a) La Figura 36, muestra todos los defectos encontrados antes de producir las piezas e ingresarlas a la línea de pintura.
- b) La Figura 37, muestra la evidencia física de las mesas de trabajo a usar durante la producción, así como cada uno de sus documentos importantes plasmados en piso mencionados en este documento.
- c) La Figura 38, muestra el área de entrada y salida de personal, además de entrada y salida de material de la línea de pintura, ya terminada.
- d) La Figura 39, muestra el pasillo principal donde se pueden observar la zona de robots de aplicación y el robot de limpieza al inicio.
- e) La Figura 40, muestra el área de carga y descarga de piezas, es aquí donde se concentra la mayor parte de personal operativo.
- f) La Figura 41, muestra un ejemplo de los primeros formatos de un turno de producción.
- g) La Figura 42, muestra el formato Buyoff de la línea de pintura con el que fue liberada dicha línea.

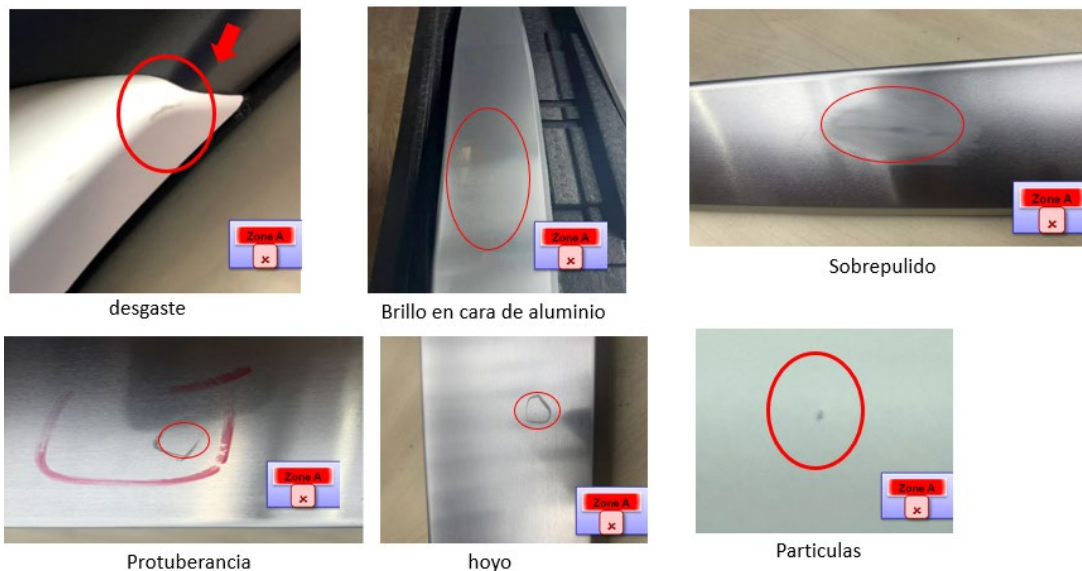


Figura 36. Defectos principales encontrados durante el arranque, plasmadas en ayudas visuales.

Elaboración propia.



Figura 37. Mesas de inspección de partes con su documentación, HOE, Ayudas visuales y normas de empaque.
Elaboración propia.



Figura 38. Área de entrada y salida de personal, además de entrada y salida de material.
Elaboración propia.



Figura 39. Pasillo principal, zona de robots de aplicación y robot de limpieza.
Elaboración propia.

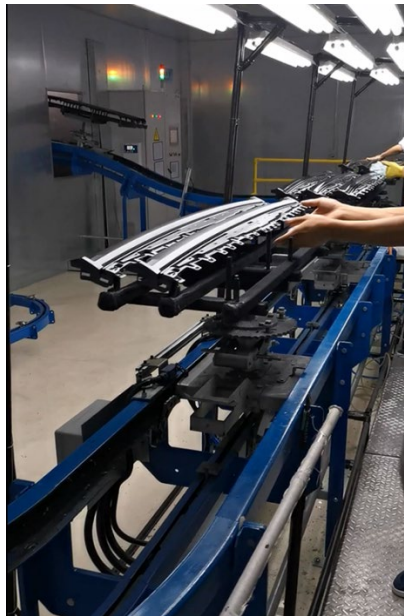


Figura 40. Área de carga y descarga de piezas.
Elaboración propia.

REGISTRO DE PRODUCCIÓN										Fecha:	Turno:
Operaciones: <u>Gabriel Fuentes / Jose Santiago</u>										25/Feb/2022	Mañana (1)
Modelo: <u>Y</u>										Celda: <u>Pintura</u>	Folio: <u>N/A Start-up</u>
Hora	Num. Lote/Caja	Piezas OK	Total	Piezas SIAP AG	Total	Piezas RETRASADO	Total	Piezas Rechazadas		Códigos Causas de Piezas Rechazadas	
								Cantidad de Rechazo (piezas)	Código causal	Código	Causa
1 06:00-07:30		43	43	0	43	N/A					
2 07:30-09:00		57	57	1	56	N/A					
3 09:00-10:30		54	54	0	54	N/A					
4 10:30-12:00		56	56	0	56	N/A					
5 12:00-13:00	Comedor	30	30	0	30	N/A					
6 13:00-14:00		50	50	1	49	N/A					
7 14:00-15:00		50	50	1	49	N/A					
8 15:00-16:00		52	52	0	52	N/A					
9 16:00-17:00		58	58	1	57	N/A					
10 17:00-18:00		28	28	1	27	N/A					
11 18:00-19:00											
12 19:00-20:00											
13 20:00-21:00											
				478	473						

Figura 41. Formato de un turno de producción. Elaboración propia.

Tooling and Equipment Approval Form				Case	Rev: 02	
MEXX Plant: <u>Mexico</u>						
Exception: <u>Painting line - Daugbia</u>						
				Case 5 MEX Plant Process Engineer	Case 4 At Supplier's Plant MEX Plant Process Engineer	Case 3 At MEXX Plant MEX Plant Process Engineer
				RED GREEN	RED GREEN	RED GREEN
Production line	Purchase Order	Supplier Order available. General Specifications & SOI is part of the PO as well as per I-1 and I-2 (Supplier Approval Form). Commercial terms are correct.	Yes	✓		
	Design	Design & drawings are in the correct format and have been approved by the supplier.	Yes	✓		
	Design Approval	MEI or Process Engineer on MEI or Tooling Engineer has approved the design of the Equipment or Tool per MEI/Process/Tooling Specifications.	Yes	✓		
	SOI	Any additional drawings that have been issued by the supplier, reviewed and approved as per I-1 and I-2.	Yes	✓		
General Requirements	General Specifications	Any additional drawings that have been issued and approved as per I-1 and I-2.	Yes	✓		
	General Requirements	General Specifications, drawings, vendor manuals, etc. are available and in English and the language of the country to which the equipment is being sent.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		Equipment conditions listed in SOI are checked for compliance with I-1 and I-2.	Yes	✓		
Tooling & Equipment	General Requirements	Equipment conditions listed in SOI are checked for compliance with I-1 and I-2.	Equipment OK	✓		
	Electrical Design	Equipment conditions listed in SOI are checked for compliance with I-1 and I-2.	Equipment OK	✓		
	Mechanical Design	Equipment conditions listed in SOI are checked for compliance with I-1 and I-2.	Equipment OK	✓		
	Painting Design	Equipment conditions listed in SOI are checked for compliance with I-1 and I-2.	Equipment OK	✓		
Quality Standard & Run Off	General Requirements	MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
Documentation & Marking	General Requirements	MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
Final Sign off	General Requirements	MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		
		MEI/Process Engineer is to be in touch with the supplier to clarify any questions.	Yes	✓		

Figura 42. Formato Buyoff de la línea de pintura. Elaboración propia.

En relación con la producción y después de las pruebas de ingeniería quedaron tareas de seguimiento, las cuales son las siguientes:

- a) Obtener orden de producción del cliente.
- b) Normalizar la compra de materiales de acuerdo con demanda.
- c) Liberación de plan de producción masivo.
- d) Balancear línea de producción.
- e) Facilidades de producción.
- f) Reporte y aprobación de la operación.
- g) Entrenamientos.
- h) Iniciar producción en masa.

También una tarea a futuro es la de como incrementar y/o jugar con la tasa promedio de producción (JPH) de la línea en la realidad, pero este tema es un tanto difícil ya que la línea fue diseñada con una capacidad, una velocidad establecida, tiempos de curado y secado acorde a la pintura a utilizar, por lo cual se enlistan algunas soluciones teóricas factibles para este caso:

- a) Adjuntar un robot de back-up para la etapa de base y otro más en la etapa de clear. Esto con la finalidad de que cuando falle algún robot poder usar otro.
- b) Para el caso del curado y secado existe la posibilidad a reserva de pruebas usar el horno de clear por el de base y/o el de base por el de clear, solo en un caso extremo ya que hacer un horno de back-up implica una modificación mayor a la línea.
- c) Reducir los tiempos ciclo de pintado del robot.
- d) Aumentar la velocidad de transportación a reserva de pruebas, para esta modificación solo se cuenta con dos unidades motrices a lo largo de toda la línea por lo cual se vuelve compleja la modificación.
- e) Debido a que el transportador continuo, el poner más operadores no serviría de nada, más sin embargo tener material listo para ingresar a la línea en todo momento, evitaría paros innecesarios.

En la Figura 43, se observa la planta de pintura por la parte exterior termina a su 100%.



Figura 43. Foto por la parte exterior de la planta de pintura después de terminada.
Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Para este proyecto se concluye que con respecto a los objetivos planteados al inicio se logró comprobar que fue posible instalar una planta de pintura en menos de 6 meses, más produciendo 10000 car sets por semana, para lograr esta meta represento un arduo trabajo en equipo, una serie de validaciones y una rampa de aprendizaje. También comprendimos que, mediante el uso de herramientas de simulación, podemos ver y acercarnos más al panorama real de una línea de producción, así como también entender el comportamiento del proceso para la generación de diferentes escenarios. los cuales ayuden a tomar decisiones en el futuro.

Aplicar la metodología APQP ayudo a que se cumplieran los aspectos básicos del proyecto y así lograr los objetivos que se plantearon para este proyecto. Por otro lado, un resultado importante que se logró fue la correcta distribución de la planta, logrando en ella la posibilidad de introducir otros proyectos en el futuro en nuestro caso relacionados a la industria automotriz.

Referente a nuestras hipótesis iniciales, estos fueron nuestros resultados:

H1. Es posible manufacturar 4 modelos de subensambles de un automóvil en una línea de producción de pintado en menos de 6 meses (*agosto-2021 a enero-2022*) garantizando la calidad del producto y produciendo 10000 car sets por semana.

OBJETIVO LOGRADO.

H2. Es posible instalar, parametrizar y validar una línea de producción de pintado para partes decorativas de interiores automotrices en 4 meses (*octubre-2021 a enero-2022*). **OBJETIVO LOGRADO.**

H3. Es posible utilizar un solo diseño de fixture para 4 modelos de subensamble. **OBJETIVO NO LOGRADO, se definieron tres fixtures más sin embargo no hubo afectación alguna a la producción.**

H4. Evaluar antes de usar una herramienta, ¿Definirá el mejor proyecto? **OBJETIVO LOGRADO.**

H5. El uso de herramientas Lean, ¿Hará más competitiva la empresa? **OBJETIVO LOGRADO.**

H6. El uso de herramientas Lean, ¿Mejorará los indicadores de calidad, productividad y servicio? **OBJETIVO LOGRADO.**

RECOMENDACIONES

Al haber realizado este proyecto se tuvieron las siguientes recomendaciones:

1. Realizar una simulación con algún otro software para tener más datos contra que comparar.
2. Involucrar a todo el personal cada que se realice algún nuevo proyecto, mejora, cambio de ingeniería.
3. Uso de técnicas y/o metodologías Lean para complementar el proyecto y tener una línea mucho más eficiente.
4. Alimentar continuamente el software de simulación en base a la realidad para tener más datos precisos y mejorar simulaciones futuras.

APORTACIÓN DE LA TESIS

En este trabajo, se ha realizado una secuencia y flujo de gestión para la instalación, arranque y desarrollo de una línea de pintura. Mediante el uso de herramientas Lean, se demostró que es posible instalar y arrancar una línea de pintura para 10000 car-sets por semana en menos de 6 meses, todo esto llevando una correcta administración y seguimiento de cada uno de los puntos en la instalación. Este trabajo también demostró que el fabricar fixtures multifuncionales que puedan procesar muchos modelos, no siempre es la mejor opción, ya que en el futuro generan problemas o en algunas ocasiones no se contemplan todas las variables posibles durante el proceso. Por otra parte, se comprobó y se estudió que las simulaciones en los procesos generan un panorama mucho más real evitando gastos y malas tomas de decisiones. Por último, el trabajo ha sido comprobado tanto en simulaciones de proceso en software como en piso. El realizar la simulación en software genero aportar ideas y medir tiempos generando una perspectiva más clara y concisa de cómo sería la línea al finalizar el proyecto. Este proyecto deja el presente para la instalación, arranque y desarrollo de una línea de pintura para futuras expansiones de la empresa, así como también aporta una guía detallada del proceso que ayudara a los cambios y perfeccionamiento de ésta.

APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS

Este proyecto contribuye a cualquier implementación y uso de las herramientas lean a nivel arranque o cualquier instalación de algún proyecto, para poder evaluar cada uno de los puntos necesarios que se requieren para tener un arranque de proyecto exitoso. El trabajo busca proporcionar información que será útil a las empresas para mejorar el conocimiento sobre los alcances en una gestión a una línea de pintura, así como también el implementar el uso de simulaciones antes de cualquier toma de decisiones, ya que, con el uso de esta nueva y sofisticada herramienta, puedes darte una idea mucho más concreta de como funcionara tu línea antes de la instalación y lo cual esto conlleva a poder hacer una modificación antes de iniciar cualquier instalación. Por último, cabe recalcar que este trabajo ayuda a evidenciar como las herramientas lean son un pilar muy importante para el desarrollo de nuevas líneas o procesos a implementar, este trabajo como muchos existentes en cuestión refuerza la metodología lean para ser usada por cualquier persona que lo lea, así como la importancia de estas herramientas y ejemplos prácticos de la aplicación de estas metodologías, ayudando en la toma de decisiones para sus estudios, proyectos o empresa.

REFERENCIAS

- Aldakin. (10 de Noviembre de 2017). *Automatización industrial robótica*. Obtenido de Aldakin: <http://www.aldakin.com/automatizacion-industrial-robotica-claves-exito/>
- Altertecnica. (29 de Octubre de 2020). *Blogs*. Obtenido de Altertecnica: <https://altertecnica.com/instalacion-linea-de-produccion/>
- Aquilano, C. (2018). *Sistema de manufactura flexible (imagen)*. (M. G. Hill, Ed.) *Mc Graw Hill*.
- Arciniega, P. (02 de 2011). *Ventajas y desventajas de la simulación*. Obtenido de sites.google.com: <https://sites.google.com/site/pearciniega357/home/ventajas-y-desventajas-de-la-simulacion>
- Automation, Rockwell. (16 de Julio de 2021). *Arena simulation*. Obtenido de Rockwell Automation: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/arena-simulation.html>
- Automotivemeetings. (2021). *Market-insights*. Obtenido de Automotivemeetings: <http://mexico.automotivemeetings.com/index.php/es/industria-automotriz-en-mexico>
- Bacalla, J. S. (01 de 1998). Tipos básicos de distribución de planta. (U. F. Industrial, Ed.) *1* (2), 60-61. Obtenido de UNMSM: https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v01_n2/tipos.htm#arriba
- Blatem, Pinturas. (12 de 02 de 2015). *Pintura poliuretano*. Obtenido de Pinturas Blatem: <https://www.blatem.com/es/actualidad/noticias/pintura-poliuretano-que-es-y-cuales-son-sus-usos>
- Burneo-Valarezo, S., Delgado Víctore, R., & Antonia Vérez, M. (Diciembre de 2016). Estudio de factibilidad en el sistema de dirección por proyectos de inversión. (I. S. Facultad de Ingeniería Industrial, Ed.) *Ingeniería industrial*, *37*(3), 305-312.
- Cárdenas, H. G. (29 de 10 de 2014). *Tipos de distribución de planta*. Obtenido de SlideShare: https://es.slideshare.net/ector_03/tipos-de-distribucion-de-planta
- Corporation, Epicor Software. (2021). *What is industry 4.0*. Obtenido de Epicor Software Corporation: <https://www.epicor.com/en/resource-center/articles/what-is-industry-4-0/>
- Cuzco Cantos, J., & Domínguez Ochoa, J. (Julio de 2019). Diseño, construcción e implementación de un horno de curado para pintura electrostática. *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17619>

- Domínguez, J. (2007). *Gestión de proyectos {Imagen}*. En P. L. Rivarola, *Gestión de proyectos* (pág. 528). Buenos Aires: Pearson.
- Doncel, M. (2021). *Políticas argentinas y la industria nacional de aluminio : caso Aluar. Universidad de San Andrés. Escuela de negocios, 71.*
- Echeverría, M. (20 de 08 de 2021). *Estándares de calidad su aplicación para una mejor gestión en la industria automotriz*. Obtenido de thelogisticsworld: <https://thelogisticsworld.com/planeacion-estrategica/estandares-de-calidad-su-aplicacion-para-una-mejor-gestion-en-la-industria-automotriz/>
- Editorial Etecé. (05 de agosto de 2021). *Pintura*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/pintura/>
- Edraw. (02 de Feb de 2021). *Edrawsoft*. Obtenido de Wandershare: <https://www.edrawsoft.com/es/project-management-tools.html>
- El equipo de marketing. (24 de Mayo de 2016). *Hornos de curado*. Obtenido de Powdertronic: <https://powdertronic.com/hornos-de-curado-para-pintura-electrostatica/>
- Engineers, Society of Automotive. (1994). *SAE J365. Method of testing resistance to scuffing of trim materials*. Society of Automotive Engineers.
- Engineers, Society of Automotive. (01 de 07 de 2015). *SAE J1351. Society of Automotive Engineers*. Obtenido de SAE International: <https://standards.globalspec.com/std/9936748/SAE%20J1351>
- Engineers, Society of Automotive. (2021). *SAE-J2412. Society of Automotive Engineers*. Obtenido de Micom Inc: <https://www.micomlab.com/micom-testing/sae-j2412/>
- ESAN, Universidad. (16 de 08 de 2021). *Que es el layout de un almacén*. Obtenido de ESAN business: <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/que-es-el-layout-de-un-almacen>
- Eurolab. (2017). *Pruebas de los estándares SAE*. Obtenido de Eurolab: <https://www.eurolab.com.tr/es/sektorel-test-ve-analizler/endustriyel-testler/sae-standartlari-testleri>
- Fernández López, E. (05 de 04 de 2012). *Distribución en planta (Imagen)*. Obtenido de slideshare: <https://es.slideshare.net/denton21/distribucion-en-planta-12807469>
- Ferrari, F. J. (29 de 03 de 2019). *Revolución robot*. Obtenido de Economipedia: <https://economipedia.com/actual/revolucion-robot.html>
- FlexSim. (2021). *FlexSim (Imagen)*. Obtenido de linkedin: <https://mx.linkedin.com/company/flexsim-software-products-inc->

- FlexSim software products, Inc. (09 de Mayo de 2022). *Manufacturing simulation*. Obtenido de FlexSim Software: <https://www.flexsim.com/es/manufacturing-simulation/>
- Garay Reyes, C., Ruiz Esparza Rodríguez, M., & Martínez Sánchez, R. (01 de 2017). El aluminio, material trascendente en la historia humana. (U. T. Mixteca, Ed.) *Repositorio Institucional UTM*, 21 (61), 3-9. Obtenido de <http://repositorio.utm.mx:8080/jspui/handle/123456789/355>
- García Cárdenas, H. (29 de 10 de 2014). *Tipos básicos de distribución de planta (Imagen)*. Obtenido de SlideShare: https://es.slideshare.net/ector_03/tipos-de-distribucion-de-planta
- García, F. G. (2014). Proceso de pintura en la industria de automoción. (E. d. Universidad de Valladolid, Ed.) *Universidad de valladolid*. Obtenido de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/11607>
- General Paint. (12 de Noviembre de 2017). *Métodos de aplicación de pintura industrial*. Obtenido de General Paint: <https://general-paint.com.mx/blog-general-paint/2017/11/12/5-diferentes-metodos-aplicacion-pintura-industrial/>
- Infaimon. (18 de julio de 2019). *Blog*. Obtenido de Infaimon: <https://blog.infaimon.com/la-linea-produccion/>
- Informático, CIC Consulting. (07 de Junio de 2021). *Industria 4.0 revolución industrial*. Obtenido de CIC Consulting Informático: <https://www.cic.es/industria-40-revolucion-industrial/>
- International Electrotechnical Commission (IEC). (1995). IEC 60068-2-70. En IEC, *IEC 60068-2-70:1995* (pág. 19). IEC.
- Jones, M. D. (2021). Past, present, and future barriers to digital transformation in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, pag.2.
- Jordi Lorente J., X. A., & Jaume Aldavert, E. (2016). 5S Para la mejora continua. En Cims, *5S Para la mejora continua* (pág. 208).
- Kluwer, W. (2021). *Distribución en planta por posición fija {Imagen}*. Obtenido de Wolters Kluwer: https://guiasjuridicas.wolterskluwer.es/Content/Documento.aspx?params=H4sIAAAAEAMtMSbF1jTAAASNjYzNztbLUouLM_DxblwMDS0NDA1OQQGZapUf-ckhIQaptWmJOcSoAiPfk-jUAAA=WKE
- Mallen, M. (Abril de 2019). *The 5 phases of apqp*. Obtenido de QAD: <https://www.qad.com/blog/2019/04/the-5-phases-of-apqp>
- Manufactura, CYSE. (21 de Junio de 2022). *Fixture (Imagen)*. Obtenido de CYSE Manufactura: <https://cysemanufactura.com/servicios/fixture/>
- Merchán Cedeño, M. Á. (Junio de 2012). Diseño de proceso para el pretratamiento de láminas metálicas. (R. I. Salesiana, Ed.) *Univeridad*

- Politecnica Salesiana*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2876>
- Metalmeccanica. (6 de 9 de 2021). *En 2023 México sobrepasaría a Alemania en producción de autopartes*. Obtenido de Metalmeccanica.com: <https://www.metalmeccanica.com/temas/En-2023-Mexico-sobrepasaria-a-Alemania-en-produccion-de-autopartes+137990>
- Morcillo, M. S. (2003). Comportamiento del aluminio pintado en las atmósferas de Iberoamérica. *Revista De Metalurgia*, 151–156.
- Ngenima. (2021). *Que es lean manufacturing o manufactura esbelta*. Obtenido de evaluandoerp: <https://www.evaluandoerp.com/que-es-lean-manufacturing-o-manufactura-esbelta/>
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (1989). ISO 3795. *Determination of burning behaviour of interior materials*. ISO.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2013). ISO 2409:2013(E). *Paints and varnishes — Cross-cut test*. ISO.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2018). ISO 6270-2. *Paints and varnishes*. ISO.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2019). ISO 1518-1. *Paints and varnishes — Determination*. ISO.
- Organización Internacional de Normalización (ISO). (2021). ISO 6452. *Determination of fogging*. ISO.
- Ortiz Prado, A., Ruiz Cervantes, O., & Ortiz Valera, J. (29 de 10 de 2013). Repositorio Digital de la Facultad de Ingeniería. *Repositorio*, 04, 47. Obtenido de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/2548/4/04-MPM-Cap1-Final.pdf>
- Pérez, J. P. (2014). La industria del plástico en México y el mundo. *Comercio Exterior*, volúmen 64, número 5, 6-9.
- Phillis, V. S. (2001). Production lines. En V. S. Phillis, *Hybrid Simulation Models of Production Networks*.
- Products, FlexSim Software. (09 de Septiembre de 2019). *Productos*. Obtenido de FlexSim: <https://www.flexsim.com/es/flexsim/>
- Promodel. (2021). *Promodel products*. Obtenido de Promodel: <https://www.promodel.com/products/promodel>
- Ramos Rivero, V. L. (2018). Evolución del uso de los materiales plásticos en la industria automotriz. *INNOVA Research Journal*, 3(12), 17-27.
- Roberts, P. (2007). Guía para la gestión de proyectos (imagen). En P. Roberts, *Guía para la gestión de proyectos* (pág. 288). Profile Books. Obtenido de

- <http://acrip.co: http://acrip.co/acrip.org/images/2/guia-para-la-gestion-de-proyectos-roberts-es-12308.pdf>
- Robotics, EDS. (23 de 04 de 2021). *¿Qué es la robótica?* Obtenido de EDS Robotics: <https://www.edsrobotics.com/blog/que-es-la-robotica/>
- Robotics, EDS. (25 de 04 de 2021). *Blog - Que es la automatización industrial.* Obtenido de EDS Robotics: <https://www.edsrobotics.com/blog/que-es-la-automatizacion-industrial/>
- Rodríguez, E. J. (10 de abril de 2019). *Aplicación de pintura industrial.* Obtenido de Lecker's: <https://www.leckers.net/aplicacion-pintura-industrial/>
- Rodríguez, J. (2021). *APQP (Advanced Product Quality Planning) y PPAP (Production Part Approval Process).* Obtenido de SPC Consulting Group: <https://spcgroup.com.mx/apqp-advanced-product-quality-planning-y-ppap-production-parts-approval-process/>
- Scanlan, M. (2021). *Simulación de manufactura para industria 4.0.* Obtenido de Engusa: <https://www.engusa.com/es/posts/simulacion-de-manufactura-para-industria-4-0>
- Simón Marmolejo, I., Granillo Macías, R., & Santana Robles, F. (2014). Etapas de un modelos de simulación y la modelación con FlexSim. (U. A. Hidalgo, Ed.) *Ingenio y Conciencia. Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún*, 1 (2). doi:<https://doi.org/10.29057/ess.v1i2.1358>
- Simulate, Siemens Tecnomatix Process. (2021). *Simulación de procesos de manufactura.* Obtenido de Engineering USA: <https://www.engusa.com/es/solution/manufacturing-process-simulation>
- Steele, C. (10 de 2021). *Definition.* Obtenido de TechTarget: <https://searchdatacenter.techtarget.com/definition/ISO>
- Systèmes, Dassault. (25 de Enero de 2017). *Delmia.* Obtenido de Dassault Systèmes: <https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/delmia/>
- United States Environmental Protection Agency. (03 de Enero de 2022). *Sustainability.* United States Environmental Protection Agency. Obtenido de EPA: <https://www.epa.gov/sustainability/lean-thinking-and-methods-3p>
- University, Purdue. (30 de May de 2021). *Value stream mapping (Imagen).* Obtenido de Purdue university: <https://www.purdue.edu/leansixsigmaonline/blog/value-stream-mapping/>
- Uptodown. (29 de March de 2011). *WinQSB.* Obtenido de Uptodown.com: <https://winsb.uptodown.com/windows>