



Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Facultad de Ingeniería

Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

**Aplicación de la metodología DMAIC para optimizar la
capacidad de producción en el área de revestimiento especial en
una empresa automotriz**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

Maestro en Planeación Estratégica e Innovación

Presenta:

Ing. José Daniel González López

Asesor:

Dra. Karla Ximena Vargas Berrones

Co-asesor:

M.I. Ubaldo Martínez Delgado



San Luis Potosí, S. L. P.

Marzo de 2026



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
Área de Investigación y Estudios de Posgrado

DECLARACIÓN

El presente trabajo que lleva por título:

“Aplicación de la metodología DMAIC para optimizar la capacidad de producción en el área de revestimiento especial en una empresa automotriz”

se realizó en el periodo enero de 2026 a Junio de 2026 bajo la dirección del Dra. Karla Ximena Vargas Berrones y M.I. Ubaldo Martínez Delgado.

Originalidad

Por este medio aseguro que he realizado el trabajo reportado, y la escritura de este documento de tesis para fines académicos sin ayuda indebida de terceros y sin utilizar otros medios más que los indicados.

Las referencias e información tomadas directa o indirectamente de otras fuentes se han definido en el texto como tales y se ha dado el debido crédito a las mismas.

El autor exime a la UASLP de las opiniones vertidas en este trabajo escrito y asume la responsabilidad total del mismo.

Este trabajo no ha sido sometido como tesis o trabajo terminal a ninguna otra institución nacional o internacional en forma parcial o total, exceptuando el caso cuando existe un convenio específico de doble titulación celebrado entre ambas instituciones.

Se autoriza a la UASLP para que divulgue este documento para fines académicos.

El autor del trabajo escrito, Ing. José Daniel González López



19 de febrero de 2026

ING. JOSÉ DANIEL GONZÁLEZ LÓPEZ
P R E S E N T E.

En atención a su solicitud de Temario, presentada por la **Dra. Karla Ximena Vargas Berrones** y el **M.I. Ubaldo Martínez Delgado**, Asesora y Coasesor de la Tesis que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestro en Planeación Estratégica e Innovación**, me es grato comunicarle que en la sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 19 de febrero del presente año, fue aprobado el Temario propuesto:

TEMARIO:

"Aplicación de la metodología DMAIC para optimizar la capacidad de producción en el área de revestimiento especial en una empresa automotriz"

Introducción.

1. Diagnóstico del problema en el área de planeación de producción para el área de revestimiento especial.
 2. Uso de la Metodologías Seis Sigma, DMAIC y Manufactura Esbelta en la industria automotriz.
 3. Aplicación de la metodología DMAIC en el área de revestimiento especial para el aumento de productividad.
 4. Análisis de resultados de la metodología DMAIC para la toma de decisiones.
- Conclusiones.
Referencias.

"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"

ATENTAMENTE



DR. EMILIO JORGE GONZÁLEZ GALVÁN
DIRECTOR
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN

www.uaslp.mx

Av. Manuel Nava 8
Zona Universitaria - CP 78290
San Luis Potosí, S.L.P.
tel. (444) 826 2330 al 39
fax (444) 826 2336

Ccp. Archivo

-bvlg

Resumen

Este trabajo se realiza con base en la experiencia profesional que se adquiere en el sector privado relacionado con la capacidad actual de la empresa, dedicada a la producción de tarjetas electrónicas usadas para faros en la industria automotriz durante el periodo profesional (2018 al 2021). Este tema de tesis se desarrolla mediante el uso de diferentes metodologías para una propuesta de mejora ya que actualmente la empresa no cuenta con el equipo necesario para cumplir con la demanda del cliente; estas características están descritas dentro de los capítulos que conforman este tema de tesis.

La intención principal de este documento es la selección y uso de herramientas estadísticas, para la solución de problemas donde se aplica una metodología ajustada a las necesidades del proceso de conformal que es la aplicación de una película polimérica protectora que se aplica a las placas de circuitos impresos PCB por sus siglas en inglés (*Printed Circuit Board*).

Se analiza la capacidad actual de la empresa para demostrar, si es necesario la adquisición de nuevo equipo el cual se respalda en las metodologías Six Sigma y Lean Manufacturing además de otras herramientas de calidad como SMED, Diagrama de Ishikawa y DMAIC, entre otros.

Glosario

DMAIC: Metodología de mejora continua de procesos que incluye cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar.

Six Sigma: Estrategia de calidad enfocada en reducir la variabilidad de los procesos y eliminar defectos.

Lean Manufacturing: Filosofía de producción que busca eliminar desperdicios y actividades que no agregan valor.

SMED (Single Minute Exchange of Die): Técnica para reducir tiempos de cambio de modelo o setup en máquinas.

OEE (Overall Equipment Effectiveness): Indicador que mide la eficiencia global de los equipos considerando disponibilidad, rendimiento y calidad.

OTIF (On Time, In Full): Métrica que evalúa si los pedidos se entregan completos y en el tiempo acordado.

Forecast: Pronóstico de la demanda futura de clientes.

Conformal Coating: Película polimérica protectora aplicada a tarjetas electrónicas (PCB) para protegerlas de humedad, polvo y químicos.

PCB (Printed Circuit Board): Tarjeta de circuito impreso donde se montan los componentes electrónicos.

WIP (Work In Process): Material en proceso, aún no terminado, que se encuentra en espera de pasar a la

Tier 1 / Tier 2 / Tier 3: Clasificación de proveedores en la industria automotriz según su nivel en la cadena de suministro.

Balanceo de línea: Técnica para distribuir equitativamente las cargas de trabajo en una línea de producción.

Scrap: Producto defectuoso o desecho generado en el proceso de producción.

Tiempo ciclo: Tiempo que tarda un proceso en producir una unidad.

Setup: Preparación o ajuste de una máquina para iniciar la producción de un nuevo modelo.

SMT (Surface Mount Technology): Tecnología de montaje superficial que permite ensamblar componentes electrónicos directamente sobre la superficie de una tarjeta PCB.

Contenido

Índice de Figura	9
Índice de tablas	11
1 Diagnóstico del problema en el área de planeación de producción para el área de revestimiento especial.....	12
1.1 Antecedentes	12
1.2 Problemática	13
1.3 Justificación.....	16
1.4 Objetivo	18
1.4.1 Objetivos específicos	18
1.5 Hipótesis.....	18
1.6 Alcances y Limitaciones	19
2 Uso de la Metodologías Seis Sigma, DMAIC y Manufactura Esbelta en la industria automotriz	20
2.1 Industria automotriz en México	20
2.2 Industria de autopartes en México	21
2.3 Metodologías	23
2.3.1 Lean Six sigma	23
2.3.2 TPM (Mantenimiento Productivo Total)	25
2.3.3 SMED	25
2.3.4 OEE	26
2.4 Conformal.....	27
2.4.1 Tipos de conformal coatings	27
2.4.2 Métodos de aplicación de conformal	27
2.4.3 Medicion del espesor	29
2.4.4 Métodos de curado	29
2.5 Ensamble	31
2.6 Planeación de producción	31
2.7 Forecast	31
2.8 Medición de OTIF (On Time, In Full).....	32
3 Aplicación de la metodología DMAIC en el área de revestimiento especial para el aumento de productividad.....	33
3.1 Tipo de investigación	33
3.2 Diseño de la investigación	33
3.3 Población y muestra	34
3.4 Diseño Experimental.....	34

3.5	Comparativo de propuestas metodológicas	35
3.6	Herramientas utilizadas.	37
3.6.1	Fase de definición.....	37
3.6.2	Fase de medición.....	38
3.6.3	Fase de analizar	39
3.6.4	Fase de implementar	40
3.6.5	Fase de Controlar	41
4	Análisis de resultados de la metodología DMAIC para la toma de decisiones.....	42
4.1	Paso 1: Definir	42
4.1.1	Revisar reclamos por parte de la gerencia	42
4.1.2	Recolectar información histórica de junta de producción sobre paros no programados.....	43
4.1.3	Realizar un estudio de cinco ¿por qué?	44
4.1.4	Revisar información histórica del área de conformal	45
4.1.5	Recolección de datos (Rate, modelos, tipos de máquinas, liberaciones)	46
4.1.6	Revisar con el departamento de ingeniería si existe un análisis de capacidad para el área de conformal.	47
4.2	Paso 2: Medir	48
4.2.1	Realizar un archivo para recopilar el forecast de los clientes del 2018.....	48
4.2.2	Realizar un análisis SMED Desarrollar un archivo que tome la demanda de los modelos que llevan conformal para realizar el estudio	50
4.2.3	Desarrollar un archivo que tome la demanda de los modelos que llevan conformal para realizar el estudio	50
4.2.4	Tomar los resultados para realizar un balance de línea	52
4.2.5	Realizar un cálculo inicial de la capacidad del proceso	53
4.3	Paso 3: Analizar	54
4.3.1	Realizar un diagrama causa-efecto.....	54
4.3.2	Realizar un estudio OEE.....	55
4.3.3	Analizar el estudio en la búsqueda de perdidas.	56
4.3.4	Realizar una lluvia de ideas con las áreas involucradas (mantenimiento, calidad, producción y planeación)	58
4.3.5	Analizar la compra de nuevo equipo (cotización, tiempo de llegada e instalación) 59	
4.4	Paso 4: Implementar.....	60
4.4.1	Reducir el tiempo ciclo de los modelos, liberación de calidad y cambio de mantenimiento	60

4.4.2	Implementar un estudio nuevo con las mejoras obtenidas, así como balanceo de líneas	61
4.4.3	Consideraciones para realizar un balance de línea.....	63
4.4.4	Realizar una simulación con la demanda actual y mejores previamente obtenidas (7 máquinas de conformal)	66
4.4.5	Realizar una simulación con la demanda actual y mejores previamente obtenidas (9 máquinas de conformal)	69
4.4.6	Realizar una simulación con la demanda actual y mejores previamente obtenidas (10 máquinas de conformal).....	72
4.4.7	Recomendación a la gerencia sobre la falta de capacidad actual y proponer la adquisición de nuevo equipo.....	74
4.4.8	Realizar un estimado de fechas de arribo e instalación de las máquinas de conformal	75
4.5	Paso 5: Controlar.....	76
4.5.1	Realizar un estudio mensual sobre la variación de la demanda para tener un estudio real de capacidad	76
4.5.2	Reuniones mensuales para mejora del proceso de conformal.	77
4.5.3	Tener reuniones con el equipo de ventas sobre cambios o nuevos proyectos para la planta	78
Conclusiones		79
Recomendaciones.....		80
Referencias.....		81

Índice de Figura

Figura 1 Esquema inicial del proceso Fuente: Elaboración propia.	14
Figura 1 Proceso de la empresa donde se realiza tema de tesis. Fuente: Elaboración propia. .	14
Figura 2. Capacidad actual de la planta 2018. Fuente: Elaboración propia	16
Figura 3 Diagrama de Causa y efecto, mostrando los principales problemas de la empresa. Fuente: Elaboración propia	17
Figura 4 Crecimiento de la industria automotriz en México,1950-2014. Fuente:.....	19
Figura 5 <i>Gráfica de Crecimiento después del TLC. Fuente: Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 2014</i>	20
Figura 6 Principales destinos de las exportaciones y lugar de origen de las importaciones, 2014. Fuente: World Trade Atlas 2014.	21
Figura 7 Tipos de tier Industria Automotriz. monografía, Fuente: Secretaría de Economía, 2012	22
Figura 8 Producción mundial de autopartes. Fuente: La industria de autopartes, Comercio exterior 2017.....	22
Figura 9 Pilares TPM. Fuente: Elaboración propia de acuerdo Kaizen Institute.	25
Figura 10 Proceso de ensamble. Fuente: Elaboración propia e imágenes tomadas dentro de la compañía.....	31
Figura 11 Metodología 8D. Fuente: Elaboración propia de acuerdo Bosch Group (2013).	35
Figura 12 Metodología PDCA. Fuente: Elaboración propia de acuerdo con Cesar Camison, Sonia Cruz y Tomas Gonzalez (2016).	36
Figura 13 Metodología DMIAC. Fuente: Elaboración propia en base a Kaizen Institute.	36
Figura 14 Pasos para realizar la fase de Definir. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 15 Pasos para realizar la fase de Medir. Fuente: Elaboración propia.	38
Figura 16 Pasos para realizar la fase de Analizar. Fuente: Elaboración propia.	39
Figura 17 Pasos para realizar la fase de Implementar. Fuente: Elaboración propia.	40
Figura 18 Pasos para realizar la fase de controlar. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 19 Diagrama de 5 porque para la resolución del problema del área de conformal. Fuente: Elaboración propia.	44
Figura 20 Proceso del área de conformal. (Fotografías tomada de la empresa, Elaboración propia).	46
Figura 21 Capacidad actual de la planta en el 2018 muestra que la capacidad instalada no puede cumplir con la demanda del cliente. Fuente: Elaboración propia	53
Figura 22 Capacidad actual de la planta con tiempo extra. Fuente: Elaboración propia.....	53
Figura 23 Diagrama de Causa y efecto, mostrando los principales problemas de la empresa. Fuente: Elaboración propia	54
Figura 24 representación de aplicación de conformal. Fuente: Techspray.	60
Figura 25 Gráfica de capacidad de producción del primer balanceo con mejora de tiempo ciclo. Fuente: Elaboración propia	62
Figura 26 Gráfica de capacidad considerando 7 máquinas de conformal. Fuente: Elaboración propia.....	67
Figura 27 Gráfica de capacidad considerando 9 máquinas de conformal. Se observa la falta de capacidad que se tiene con 9 máquinas Fuente: Elaboración propia	71
Figura 28 Gráfica de capacidad considerando 10 máquinas de conformal demostrando que al tener 10 máquinas de conformal la demanda puede cumplirse. Fuente: Elaboración propia	73

Figura 29 Formato con la primera reunión realizada entre mtto, calidad, producción y planeación. Fuente: Elaboración propia	77
Figura 30 Formato con la primera reunión realizada entre ventas y planeación. Fuente: Elaboración propia	78

Índice de tablas

Tabla 1 Metodologías analizadas. (Walter Izaguirre y Bryan Salazar López, 2019	23
Tabla 2 Etapas y objetivos de la metodología Six Sigma. Kaizen Institute.	24
Tabla 3 Tipos de Conformal. Fuente: Techspray.....	27
Tabla 4 Tipos de aplicación. Fuente: Techspray.	28
Tabla 5 Tipos de mediciones de espesor. Fuente: Techspray.....	29
Tabla 6 Metodos de Curado. Fuente: Techspray.	30
Tabla 7 Ejemplo de productividad en el área de conformal del 19 de agosto 2018 como muestra de problemas. Fuente: Elaboración propia.....	42
Tabla 8 Paros en el área de conformal y problemas. Fuente: Elaboración propia.	43
Tabla 9 Balanceo de modelos. Fuente: Elaboración propia.	45
Tabla 10 Tiempos ciclos actualizados. Fuente: Elaboración propia.....	47
Tabla 11. Forecast cliente junio 2018 a diciembre 2019. Fuente: Elaboración propia	49
Tabla 12 Requerimiento del cliente por modelos junio 2018 a diciembre 2019 solo modelos que llevan el proceso de conformal. Fuente: Elaboración propia	51
Tabla 13 Balanceo de modelos. Fuente: Elaboración propia.....	52
Tabla 14 Lluvia de idea. Fuente: Elaboración propia.....	58
Tabla 15 Primer balanceo con modelos del 2018. Fuente: Elaboración propia	62
Tabla 16 Tipos de revestimiento por modelo. Fuente: Elaboración propia	64
Tabla 17 Aplicación de conformal un lado o dos lados. Fuente: Elaboración propia	65
Tabla 18 Balanceo de modelos con 7 máquinas de conformal. Fuente: Elaboración propia	66
Tabla 19 Capacidad de conformal en porcentajes % con 7 máquinas. Fuente: Elaboración propia.....	68
Tabla 20 Balanceo de modelos con 9 máquinas de conformal. Fuente: Elaboración propia	69
Tabla 21 Capacidad de conformal en porcentajes % con 9 máquinas. Fuente: Elaboración propia.....	71
Tabla 22 Balanceo de modelos con 10 máquinas de conformal. Fuente: Elaboración propia ...	72
Tabla 23 Capacidad de conformal en porcentajes % con 10 máquinas. Fuente: Elaboración propia.....	73
Tabla 24. Se generan dos opciones por maquina por modelo. Fuente: Elaboración propia	74
Tabla 25 Estimado de fechas. Fuente: Elaboración propia	75
Tabla 26 Variación de la demanda. Fuente: Elaboración propia	76

1 Diagnóstico del problema en el área de planeación de producción para el área de revestimiento especial.

1.1 Antecedentes

La empresa donde se lleva a cabo esta investigación es una compañía enfocada en la elaboración de tarjetas electrónicas para los faros de automóviles, bajo el esquema de nivel de proveeduría, la cual se encuentra estratificada en Tier 2 (Jerarquía de proveedores), es la categoría de un proveedor en la cadena de suministros dedicada a proveer material a la categoría Tier 1.

Según información de CompuTrabajo (2014) la compañía se encuentra ubicada en San Luis Potosí, específicamente en el Parque Industrial Colinas, donde lleva a cabo sus operaciones desde el año 2013 sus principales características son:

- ✓ Red global: Tiene presencia internacional, fue creada y está dirigida por japoneses.
- ✓ Empresa sin afiliación: No trabaja para una sola marca de automóviles, así que tiene un amplio mercado al cual se dirige.
- ✓ Calidad: Destaca en tecnología de montaje superficial SMT (*Surface Mount Technology*) con alto nivel de tecnología de fabricación.

Cabe destacar que en el año 2018 tuvo una expansión aumentando el tamaño de la planta, así como las líneas de producción y personal operativo.

Debido a la alta demanda anual de los clientes, la empresa optó por llevar a cabo un crecimiento acelerado por lo que busca mejorar los procesos productivos ya implementados, así como los administrativos. Actualmente se tiene implementado el proceso mediante la metodología Six Sigma, como herramienta fundamental para llevar a la compañía a la reducción de costos y productos

Actualmente existen diversas herramientas que ayudan a mejorar y optimizar las operaciones dentro de un proceso, las empresas optan por implementar aquellas que favorecen el logro de los objetivos a un menor costo y en un tiempo menor, así como aquellos que los ayudan a alcanzar una mayor calidad y rendimiento de los productos, que ofrecen a los clientes y así satisfacer la demanda.

1.2 Problemática

El esquema muestra el proceso productivo actual, donde la máquina de conformal coating aplica recubrimiento sobre tarjetas electrónicas. Se identifican paros no programados y baja eficiencia (OEE = 72 %), lo que genera tiempo perdido y producción deficiente. Este análisis permite visualizar las causas principales de la baja disponibilidad y calidad en la línea de producción.



Figura 1 Esquema inicial del proceso Fuente: Elaboración propia.

El proceso de revestimiento especial (conformal) es un área vital para la compañía debido a que es un requerimiento del cliente. Por tal motivo, se necesita realizar un análisis de capacidad para revisar el estatus de producción de la compañía y evitar tener un reclamo por falta de material. En la figura 1 se muestra el diagrama de proceso u operaciones que se cuenta en la compañía.

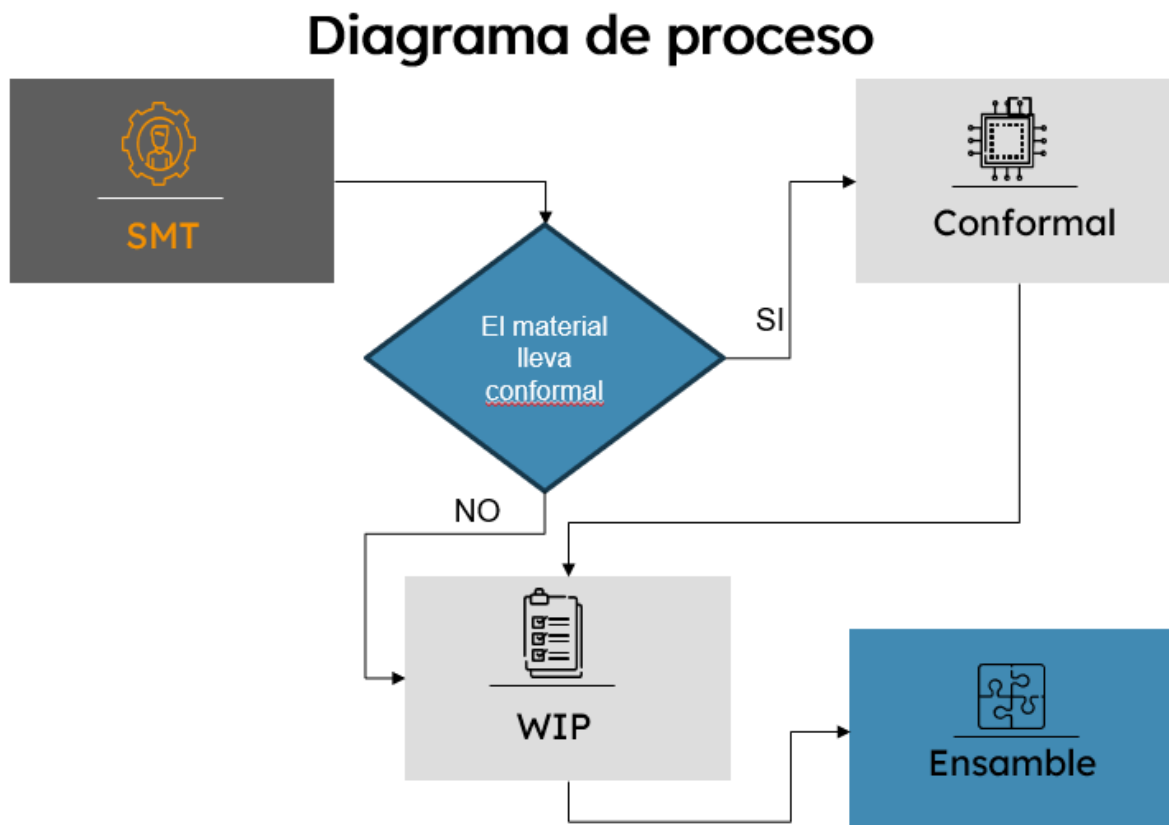


Figura 2 Proceso de la empresa donde se realiza tema de tesis. Fuente: Elaboración propia.

El proceso inicia con las siguientes áreas:

- SMT (Tecnología de Montaje Superficial): Proceso de ensamble de componentes electrónicos (resistencia, capacitor, led, etc.) en una tarjeta board (revisar punto 2.4).
- WIP (trabajo en proceso): Ubicación donde se guarda el material hasta su uso.

- Conformal: Proceso de aplicación de película polimérica (revisar punto 2.5) en este punto se cuenta con materiales que llevan este proceso, y el resto se pasa directo al siguiente proceso.
- Ensamble: Proceso en el cual se colocan los arneses o cables, además se realiza la prueba de funcionamiento.

La empresa cuenta con 158 modelos, pero solo el 47% lleva el proceso de conformal (enero 2019). Si el material no lleva el proceso especial se acomoda en el WIP hasta su uso por el área de ensamble, si lleva el proceso de conformal se procesa y al finalizar se guarda en el WIP para ser procesado posteriormente por ensamble.

1.3 Justificación

La capacidad que tiene el área de conformal es crítica en el año 2018, donde 40% de los modelos que existen en la planta pasaban por el proceso de conformal, de acuerdo con los requerimientos recibidos por parte de los clientes se prevé que los modelos aumenten al 60% en los próximos años, en la figura 2 se muestra la capacidad actual del proceso de conformal, en la cual se aprecia que la empresa no cuenta con la capacidad necesaria para cubrir la demanda del cliente. Respecto a los años anteriores no cuenta con información debido a que no se media esta área.

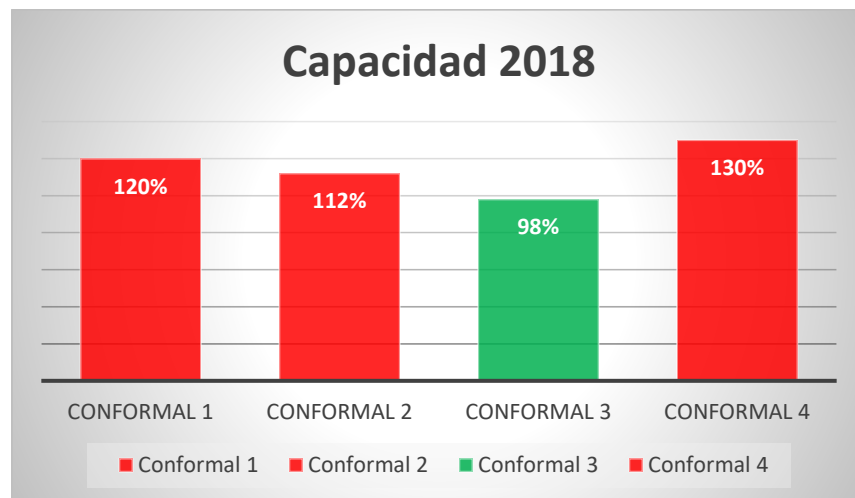


Figura 3. Capacidad actual de la planta 2018. Fuente: Elaboración propia

Dicho lo anterior, se concluye que uno de los problemas principales que enfrenta la empresa es la falta de capacidad actual que tienen las líneas de producción en el área de conformal; dicho problema también afecta al área de ensamble ya que es el proceso posterior.

En la figura 3 se muestra el diagrama de causa y efecto donde se observan las deficiencias actuales que se tienen para lograr la producción sin causar líneas de paro.

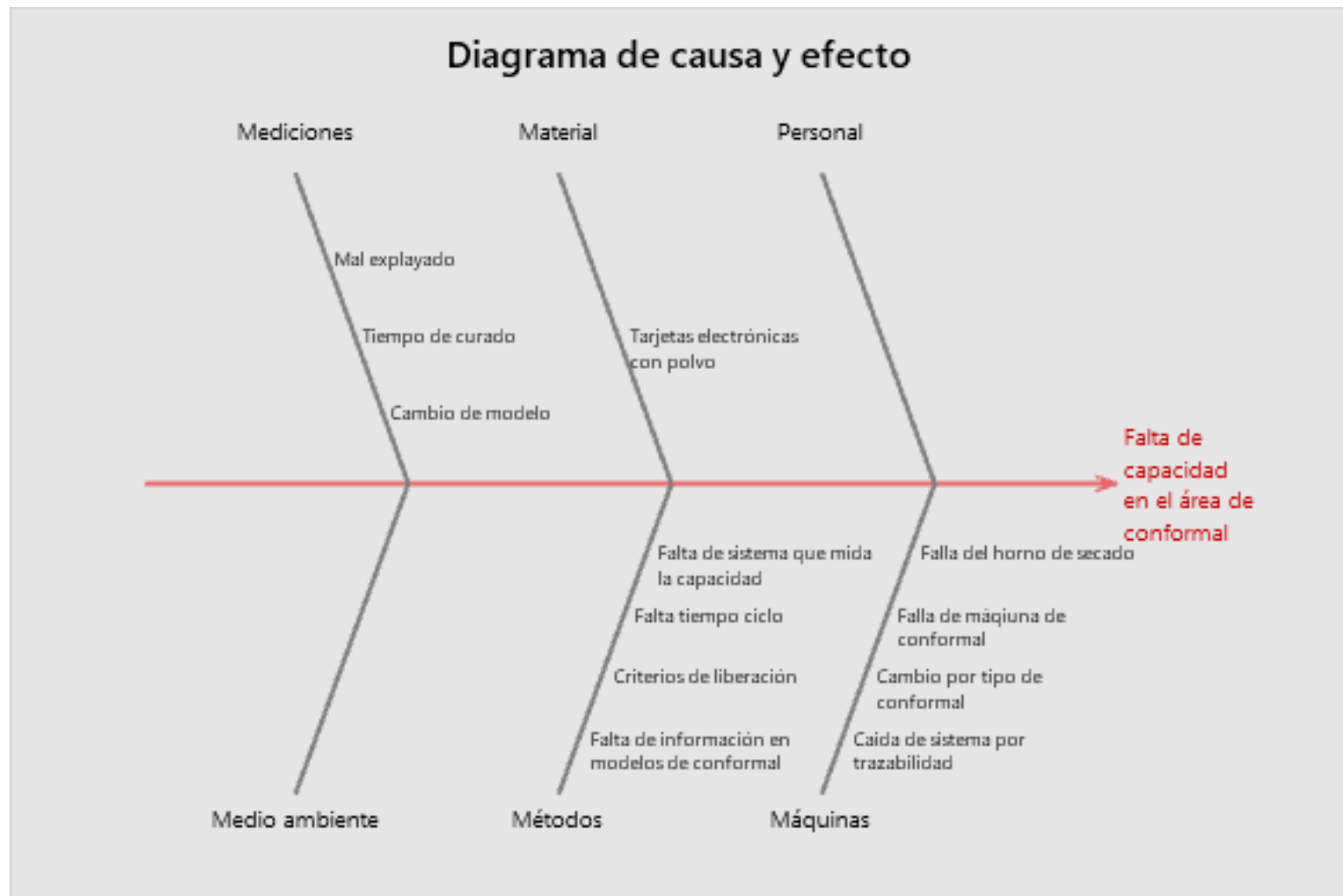


Figura 4 Diagrama de Causa y efecto, mostrando los principales problemas de la empresa. Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que antes de optar por la compra e implementación de nuevo equipo, se busca mejorar el proceso actual con la finalidad de obtener información completa detallada, mejorada y así justificar la adquisición de la maquinaria en dado caso que se requiera llevar a cabo.

Al realizar el presente proyecto se busca mejorar la producción sin que se presenten paros de línea, se busca llegar a un OEE (eficiencia general de los equipos) del 85%, así como reducir los defectos (*scrap*) ocasionados por fallas en el proceso.

1.4 Objetivo

El objetivo es desarrollar e implementar diferentes herramientas para analizar la capacidad de un proceso de producción para el área de revestimiento especial en una empresa automotriz.

1.4.1 Objetivos específicos

- Analizar de la capacidad de producción en el área de revestimiento especial con las condiciones actuales de la empresa.
- Llevar a cabo la toma de tiempo de ciclo de los modelos actuales y faltantes, referentes al área de revestimiento especial (conformal) con el propósito de reducir el tiempo de cambio de modelos y liberación de máquina.
- Analizar la factibilidad de la adquisición de nueva maquinaria si es que el proceso actual lo requiere.

1.5 Hipótesis

Al implementar herramientas de calidad se alcanzará un $OEE \geq 85\%$ y se reducirá scrap en al menos 10%, de tal manera que cubra la demanda de los clientes, y a la vez pueda seguir teniendo captación de más clientes dentro del mercado.

1.6 Alcances y Limitaciones

Los alcances de este trabajo de tesis es el análisis y la aplicación de diferentes herramientas para mejorar la capacidad de producción actual. El estudio se enfoca exclusivamente en el área de conformal de la empresa donde se realiza este tema de tesis.

El estudio se realiza en las condiciones y circunstancias ya mencionada en el periodo de enero del 2019 a abril del 2021.



Figura 5 Crecimiento de la industria automotriz en México, 1950-2014. Fuente: Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI, 2014).

2 Uso de la Metodologías Seis Sigma, DMAIC y Manufactura Esbelta en la industria automotriz

2.1 Industria automotriz en México

Según datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y de la asociación mexicana de la industria automotriz (AMIA), la producción representó el 24.97% de las manufacturas durante el año 2022 ubicando a este sector como la segunda actividad más importante después de la industria alimentaria. (Pool CEO, 2023)

La producción de la Industria automotriz con el pasar de los años ha ido aumentando su importancia relativa en la economía, cuando entró en vigor el Tratado de Libre Comercio (TLC) de América del Norte, esta industria representaba el 1.9% del PIB del país y en 2014, este porcentaje fue de 3%. Como se muestra en la figura 5 (Clemente Ruiz Duran, 2016).

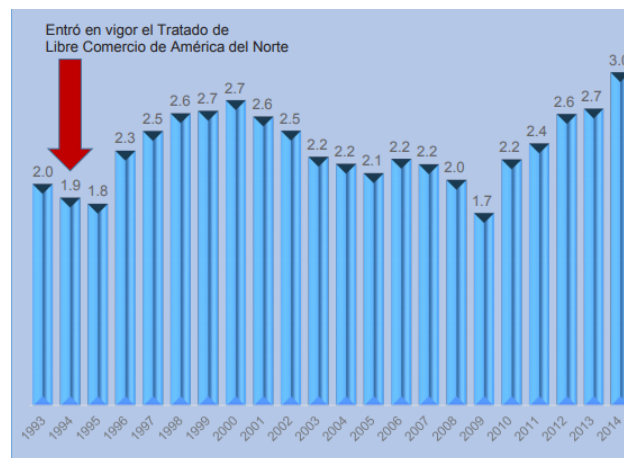


Figura 6 *Gráfica de Crecimiento después del TLC. Fuente: Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI). 2014*

La figura 6 se muestra un indicador El crecimiento de la producción ha estado sustentado en las exportaciones hacia Estados Unidos.

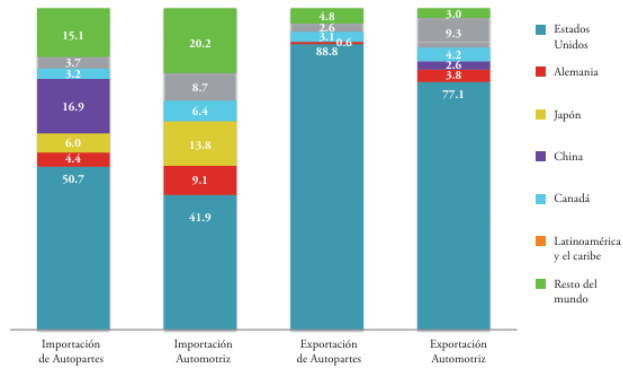


Figura 7 Principales destinos de las exportaciones y lugar de origen de las importaciones, 2014.

Fuente: World Trade Atlas 2014.

2.2 Industria de autopartes en México

La industria de autopartes en México se organiza por Tier como se muestra en la figura 7 que quiere decir que son los niveles de operación.

Según la página tu interfaz de negocios (marzo-abril, 2014) define los Tiers, en los siguientes niveles de operación.

- Tier 1: son los proveedores directos de las empresas armadoras, entre los cuales encontramos partes del motor, sistemas de dirección y suspensión, sistemas de aire acondicionado, componentes electrónicos, entre otros. En algunos casos los Tier 1 son las mismas ensambladoras o las responsables principales.
- Tier 2: Estas son las empresas proveedoras de los Tier 1. Manufacturan equipos y productos que son utilizados en áreas más avanzadas / especializadas de la industria automotriz. Entre los utilizados encontramos: partes forjadas, estampadas, fundidas, plásticas, maquinadas y de inyección de aluminio.
- Tier 3: Estas son las empresas proveedoras de insumos de los Tier 2, que cumplen los requerimientos de calidad necesarios que demanda la industria automotriz.



Figura 8 Tipos de tier Industria Automotriz. monografía, Fuente: Secretaría de Economía, 2012

De acuerdo con información del Sistema Empresarial Mexicano (SIEM), al año 2017 en el territorio nacional se encuentran más de 600 empresas de autopartes, de las cuales aproximadamente el 30% son de primer nivel (Tier 1). México se mantiene como la 5ª potencia en fabricación de autopartes como lo muestra la figura 8.

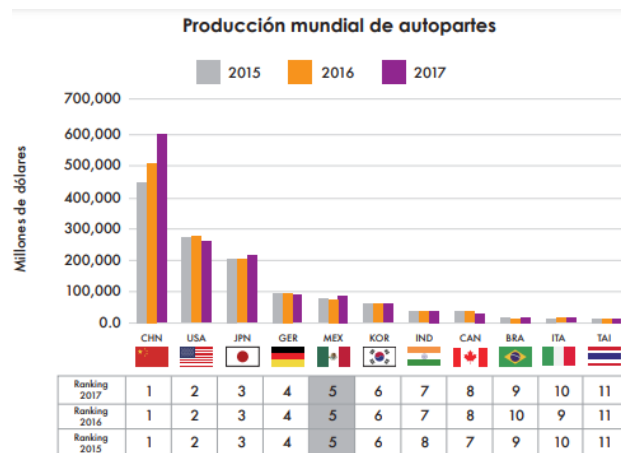


Figura 9 Producción mundial de autopartes. Fuente: La industria de autopartes, Comercio exterior 2017.

2.3 Metodologías

El presente trabajo se basa en la aplicación de dos metodologías: TPM y Lean Six Sigma para resolver el problema de capacidad de producción en una empresa automotriz, y seguir captando nuevos proyectos ajustándose a las fechas de entrega. La tabla 1 muestra la descripción general de las metodologías aplicadas.

Tabla 1 Metodologías analizadas. (Walter Izaguirre y Bryan Salazar López, 2019)

Metodología	Descripción
Six Sigma	Diseñada en la empresa Toyota, en Japón. Esta herramienta se enfoca en eliminar todos los elementos de la planta lo que no agrega valor, con la finalidad de reducir costos innecesarios, tiempos de entrega del producto y problemas de calidad (Walter Izaguirre).
TPM	El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una metodología de mejora que permite asegurar la disponibilidad y confiabilidad prevista de las operaciones, de los equipos, y del sistema, mediante la aplicación de los conceptos de: prevención, cero defectos, cero accidentes, y participación total de las personas (Bryan Salazar López, 2019).

2.3.1 Lean Six sigma

De acuerdo con Kaizen Institute, define Lean Six Sigma como principios y etapas.

El Lean Six Sigma es un enfoque integrado y completo para mejorar la eficiencia operacional y la calidad. La metodología Lean se origina en el Sistema de Producción de Toyota y se centra en la eliminación de actividades que no añaden valor (muda o desperdicio) a un proceso. El uso de esta metodología es importante debido a que ofrecen beneficios significativos en varias áreas claves, como eficiencia operacional, mejora de la calidad, satisfacción del cliente, toma de decisiones, reducción de costos y mejora continua.

El proceso DMAIC es el núcleo de la metodología Lean Six Sigma. Es una secuencia de cinco etapas que guían a los equipos en la resolución de problemas y la mejora de procesos.

Cada etapa desempeña un papel específico en el proceso de transformación, lo anterior puede resumirse en la tabla 2.

Tabla 2 Etapas y objetivos de la metodología Six Sigma. Kaizen Institute.

Etapas	Objetivos
DEFINIR:	En esta etapa, el equipo define claramente el problema a abordar y establece los objetivos de mejora. Es importante comprender la situación actual, identificar a los interesados y establecer criterios de éxito.
MEDIR:	Durante esta fase, el equipo recopila datos relevantes sobre el proceso en cuestión. La medición es crucial para comprender el rendimiento actual, identificar variaciones y determinar el nivel de los problemas existentes.
ANALIZAR:	La etapa de análisis implica profundizar en los datos recopilados en la etapa anterior para identificar las causas raíz de los problemas.
MEJORAR:	Con una comprensión de las causas raíz, el equipo desarrolla e implementa soluciones para resolver los problemas identificados. Las soluciones se prueban y ajustan según sea necesario antes de la implementación definitiva.
CONTROLAR:	La última etapa se centra en mantener y monitorear las mejoras implementadas. Se establecen sistemas de control para garantizar que los cambios sigan siendo efectivos a largo plazo. Esto implica definir indicadores clave de rendimiento (KPI's) y crear un plan de seguimiento.

2.3.2 TPM (Mantenimiento Productivo Total)

De acuerdo con Kaizen Institute, define al Mantenimiento Productivo Total como principios y pilares.

Evolucionando a partir del mantenimiento preventivo, el TPM integra los principios de la manufactura esbelta y la filosofía Kaizen. Los pilares de TPM son los que se muestran en la figura 9.



Figura 10 Pilares TPM. Fuente: Elaboración propia de acuerdo Kaizen Institute.

2.3.3 SMED

El SMED (Single Minute Exchange of Die, o cambio de matriz en menos de 10 minutos) es una metodología cuyo objetivo es reducir significativamente los tiempos de *setup* y hacer viable la producción en lotes pequeños. El principio fundamental del SMED, que consiste en minimizar los tiempos de cambio, sigue siendo uno de los pilares de la flexibilidad, la fluidez y la eficiencia operacional (Kaizen Institute).

2.3.4 OEE

De acuerdo con Kaizen Institute, define el OEE.

El OEE (Overall Equipment Effectiveness o Efectividad total de los Equipos) es un indicador compuesto que mide la eficacia global de un equipo, combinando tres dimensiones: disponibilidad, rendimiento y calidad. Cada una de estas dimensiones representa una categoría distinta de pérdidas operacionales, lo que permite un análisis exhaustivo del rendimiento de un activo y que se expresa como un porcentaje de tres parámetros:

1. Disponibilidad: Mide el porcentaje efectivo que estuvo trabajando el equipo en relación con el tiempo programado.
2. Rendimiento: Evalúa si el equipo está trabajando de la forma ideal comparando contra la capacidad real.
3. Calidad: Indica la cantidad conforme con respecto a la producción total.

Estándar de evaluación de OEE

- **Inaceptable (0% - 65%):** Indica una competitividad muy baja y la necesidad de mejoras significativas.
- **Regular (65% - 75%):** Se considera aceptable solo si la empresa está en un proceso activo de mejora continua.
- **Aceptable (75% - 85%):** Un nivel de eficiencia bueno, pero con margen de mejora.
- **Buena competitividad (85% - 95%):** Un nivel alto de rendimiento.
- **Excelente (95% - 100%):** Se considera un punto de partida para la excelencia operativa.

2.4 Conformal

La información relacionada del área de conformal es obtenida de la página (Techspray 2025).

Es un revestimiento que se aplica a un placa de circuito impreso, mejorando su resistencia dieléctrica, confiabilidad operativa y protección ante condiciones ambientales (corrosivos, la humedad, el calor, los hongos y la contaminación del aire, como la suciedad y el polvo).

2.4.1 Tipos de conformal coatings

Existen varias opciones para las tecnologías de revestimiento, cada tipo de conformal se determina por los atributos y funciones; la eleccion del conformal coating para su aplicación está determinada por los requisitos operativos de los componentes electrónicos. Se muestra en la tabla 3 los tipos de conformal que se usan actualmente.

Tabla 3 Tipos de Conformal. Fuente: Techspray

Tipos de Conformal Coating			
Tipo de Conformal Coating	Características principales	Ventajas	Limitaciones
 Acrílico (AR)	Secado rápido, fácil de aplicor y remover.	Buena protección contra humeodá y polvo.	Baja resistencia a solventes y altas temperaturas.
 Silicón (SR)	Alta flexibilidad y resistencia térmica.	Excelente protección ante variaciones de temperatura y vibraciones.	Difícil de remover, curado lento.
 Poliuretano (UR)	Alta resistencia química y mecánica.	Ideal para ambientes agresivos o exposición a solventes.	Difícil reparación; aplicación controlada.
 Epóxico (ER)	Muy alta dureza y resistencia química.	Excelente barrera contra humeodá y corrosión.	No permite retrabajo, genera tensiones en componentes.
 Parileno (XY)	Deposición en fase vapor.	Cobertura uniforme y gran aislamiento.	

2.4.2 Métodos de aplicación de conformal

Al definir el tipo de revestimiento se selecciona el metodo de aplicación. El cual debe tomarse varios requisitos, que se muestran a continuacion.

- Requisitos de producción: El tiempo de preparación de la mezcla, la velocidad de aplicación y la rapidez del curado de las placas electronicas.

- Requisitos de diseño de la placa: Los diseños cargados de conectores, los componentes sensibles a los disolventes y otras cuestiones influyen en su decisión.
- Requisitos de equipo: Revisar el volumen de producción y margen de utilidad para saber si es necesario realizar una inversión.
- Proceso de revestimiento: De acuerdo a las especificaciones del cliente puede llevar especificaciones especiales como enmascaramiento o el encintado antes del revestimiento.
- Requisitos de calidad: Al ser productos electrónicos se exigen un alto grado de repetibilidad y fiabilidad, generalmente se usan métodos de aplicación más automatizados.

La tabla 4 muestra cuáles son los métodos de aplicación de los conformal coatings tradicionales.

Tabla 4 Tipos de aplicación. Fuente: Techspray.

Tipos de aplicación	Descripción
Pulverización automatizada	Sistema de pulverización programado que mueve la placa en una cinta transportadora bajo un cabezal que aplica un conformal coating.
Revestimiento selectivo	Un proceso de conformal coating automatizado que utiliza boquillas de rociado robóticas para aplicar el revestimiento en zonas muy específicas de la placa de circuito. Este proceso se utiliza en procesos de alto volumen.
Cepillado	El cepillado es una técnica de aplicación sencilla que se utiliza principalmente en aplicaciones de reparación y repaso. El conformal coating se aplica con un cepillo en zonas específicas de la placa. Es un

	método de bajo costo es más adecuado para pequeñas series de producción.
--	--

2.4.3 Medicion del espesor

Los revestimientos de conformación se suelen aplicar como revestimientos muy finos, proporcionando la máxima protección posible con la menor cantidad de material. Esto minimiza la acumulación de calor, la adición de peso adicional y otra serie de preocupaciones. El espesor normal con la mayoría de los revestimientos de conformación es de entre 1 y 5 milésimas de pulgada. Tabla 5.

Tabla 5 Tipos de mediciones de espesor. Fuente: Techspray.

Tipos	Descripcion
Micrometro	las mediciones de espesor micrométricas se toman en la placa (o en un panel de prueba) en varios lugares antes y después de que el revestimiento se lleva a cabo.
Medidor de espesor ultrasónico	este tipo de medidor determina el grosor de la capa mediante ondas ultrasónicas.

2.4.4 Métodos de curado

El mecanismo de curado no es un criterio primordial a la hora de seleccionar un revestimiento, tiene un impacto directo en el tipo de método de aplicación que será viable y en el rendimiento de producción. Se muestran algunos en la tabla 6.

Tabla 6 Metodos de Curado. Fuente: Techspray.

Mecanismo de Curado	Descripción	Ventajas	Limitaciones
 Evaporación		Proceso simple, No requiere equipo especializado.	Puede generar burbujas o variaciones de espesor.
 Humedad		Curado muy rápido, Alta producción.	No requiere calor, Curado natural.
 Curado por Humedad		No requiere calor, Curado natural.	Mayor dependiente de las condiciones ambientales.
 Curado A Temperatura Ambiente		Curado rápido y uniforme, Ideal para producción masiva	Requiere energía y control preciso de temperatura.

La empresa tiene como metodología el sistema Six sigma para proyectos de mejora continua, se cuenta con un departamento el cual da ideas como seguimiento a los proyectos del área; mientras tanto el departamento de ingeniería se basa en la búsqueda de reducción de tiempos y movimientos por diferentes métodos.

Los métodos utilizados en el área de conformal son:

- Tipo de conformal: Resina de uretano (poliuretano).
- Tipo de aplicación: Pulverización automatizada.
- Medición de espesor: Medidor de espesor ultrasónico.
- Método de curado: Curado por calor.

2.5 Ensamble

Proceso en el cual se colocan arneses, cubiertas y validación en máquina de prueba. Posteriormente se empaca en cajas (retornables por el cliente o nuevas) para su envío para clientes nacionales o internacionales. Figura 10.

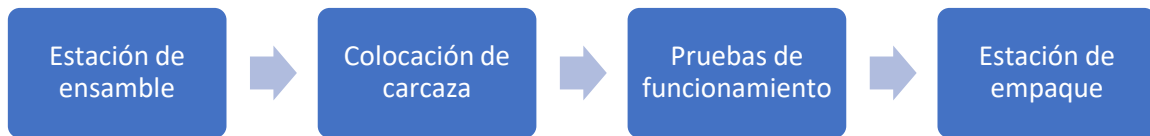


Figura 11 Proceso de ensamble. Fuente: Elaboración propia e imágenes tomadas dentro de la compañía.

2.6 Planeación de producción

Es el proceso de planear, programar y controlar las actividades de producción para asegurar que los recursos (personas, materiales y equipos) se utilizan de manera eficiente y que los productos se entreguen a tiempo (Gaither & Frazier, 2000).

2.7 Forecast

Un pronóstico es una predicción de eventos futuros que se utiliza con propósitos de planeación. En el contexto de operaciones, se utiliza para determinar la demanda esperada de productos y servicios (Krajewski, Ritzman & Malhotra, 2013).

Existen diferentes tipos de forecast (5 años, 1 año, 13 semanas y dos semanas) las empresas manejan un porcentaje de variación de la demanda la cual es medida por una métrica conocida como asertividad de la demanda que se define como: El grado de concordancia entre la demanda real y la demanda proyectada en el forecast. Tener una alta asertividad representa una reducción al sesgo y poder optimizar los niveles de inventario (Heizer & Render, 2014).

Fórmula para medir la precisión de la demanda

$$Asertividad = 100\% - \left(\frac{|Actual - Pronóstico|}{Actual} \right) \times 100$$

Ejemplo: La asertividad del 90%, significa que el margen de error es del 10%. En la industria automotriz un asertividad del 80% se considera bueno.

2.8 Medición de OTIF (On Time, In Full)

Es un indicador de desempeño que se mide la capacidad de un proveedor para entregar los pedidos de acuerdo con dos criterios críticos: que el material llegue en la fecha pactada (On Time) y con la cantidad completa solicitada (In Full) (Christopher, 2016)

$$OTIF\% = \left(\frac{Pedidos\ entregados\ a\ tiempo\ y\ completos}{Total\ de\ pedidos\ solicitados} \right) \times 100$$

3 Aplicación de la metodología DMAIC en el área de revestimiento especial para el aumento de productividad

3.1 Tipo de investigación

El alcance de esta investigación es de tipo correlacional porque permite identificar la relación entre 2 o más variables: tiempos muertos en el proceso de producción y retardos en entregas al cliente externo como interno.

Este alcance también permite predecir en cierta medida el efecto de una variable sobre otra, ya que como explica (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014) “el hecho de saber que dos conceptos o variables se relacionan aporta cierta información explicativa”, es decir, en qué medida la implementación de la mejora reduce el tiempo de muertos en los procesos (cambios de modelo, fallas de máquinas o falta de material) y aumenta el tiempo de disponibilidad de la línea de conformal.

3.2 Diseño de la investigación

Como se mencionó anteriormente el objetivo del problema se limita a una sola área que es conformal, así mismo se busca que la pregunta de investigación tenga el propósito del tema. Como algunas de otras características como variabilidad del estudio y deficiencias en el conocimiento del tema.

Para el desarrollo del planteamiento se utilizan algunas metodologías para darle confiabilidad al desarrollo como tener datos reales del problema.

El diseño de este estudio es experimental por que se manipula las variables independientes, debido a que se tomaran como referencia los tiempos ciclos del junio del 2018 al diciembre del 2019, se realizó un análisis de un mes para obtener más datos de la capacidad producida.

Este diseño esta alineado con el cumplimiento del objetivo de la compañía; “Satisfacción al cliente”.

3.3 Población y muestra

Según Hernández Sampieri, Fernández Collado, y Baptista Lucio (2014) en las muestras no probabilísticas, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador.

En este tema de tesis se limita al desarrollo de diferentes análisis para cumplir con las características del cliente realizadas desde el mes de junio del 2018 hasta diciembre del 2019.

Además, se estará realizando un estudio mensual de capacidad como de balanceo de línea como se muestra en el apartado (4.1.4), así como diferentes juntas para tener un control más puntual sobre los modelos, tiempos ciclos y condiciones que afecten el proceso.

3.4 Diseño Experimental

En el presente proyecto se busca resolver la problemática de un sistema de producción en una empresa automotriz dedicada al ensamble de tarjetas electrónicas PCB (*Printed Circuit Board*).

Se examinan tres variables dependientes: la producción, el tiempo de ensamble y la disponibilidad de materiales, ésta última se considera fundamental en cualquier proceso de producción. Se toma en cuenta que el sistema productivo no tiene la capacidad para satisfacer las necesidades del cliente interno (Área de ensamble de tarjetas PCB), ya que el material necesario y optimo no se aprovecha en su totalidad. Por mencionar un ejemplo, de cada 100 piezas que deben ser ensambladas y explayadas con conformal solamente se obtienen 60, esto se toma con base a la efectividad total de los equipos. Aunado a la problemática anterior se presenta la falta de implementación de estándares de calidad y de procesos, por ejemplo, DMAIC

(Definir, medir, analizar, mejorar y controlar), AMEF (análisis modal de fallos y efectos), TPM (Mantenimiento productivo total) que son algunas metodologías estudiadas y comprobadas en el uso de la mejora continua.

3.5 Comparativo de propuestas metodológicas

Este proyecto de tesis se realiza con base en un estudio de caso, donde se pretende encontrar las causas que provocan que se generen varios cambios de modelo en las líneas de producción de acuerdo con el proyecto solicitado por el cliente, aunado a la falta de material de piezas con conformal, las cuales generan tiempos muertos en el proceso posterior donde son ensambladas en la planta de producción.

En el presente proyecto se revisaron 3 metodologías o enfoques diferentes para resolver la problemática que se tiene sobre la capacidad de producción en el área de conformal. Donde se evaluaron sus objetivos, procesos o etapas.

Según Bosch Group (2013), **la metodología 8D** es usada para identificar y corregir problemas que se dan con más asiduidad en las empresas; siendo de gran utilidad en la mejora de productos y procesos. Establece una práctica estándar basada en hechos y se concentra en el origen del problema mediante la determinación de la causa raíz. De acuerdo con la figura 11.

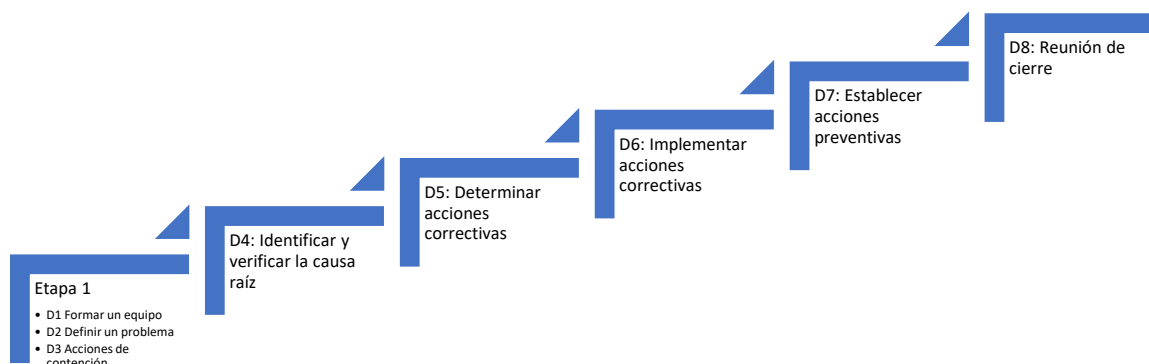


Figura 12 Metodología 8D. Fuente: Elaboración propia de acuerdo Bosch Group (2013).

Según Cesar Camison, Sonia Cruz y Tomas Gonzalez (2016) El ciclo PDCA (en ingles Plan, Do, Check, Act) y (en español figura 12 Planear, Hacer, Revisar y Actuar) es un proceso que, junto con el método clásico de resolución de problemas, permite la consecución de la mejora de la calidad en cualquier proceso de la organización. Supone una metodología para mejorar continuamente y su aplicación resulta muy útil en la gestión de los procesos.



Figura 13 Metodología PDCA. Fuente: Elaboración propia de acuerdo con Cesar Camison, Sonia Cruz y Tomas Gonzalez (2016).

De acuerdo con Kaizen Institute, define Lean Six Sigma como principios y etapas. Al revisar las metodologías antes mencionadas entre TPM y Seis Sigma ambas son aplicables al presente proyecto. Existe un término llamado Lean Six Sigma que es una conjugación de herramientas Lean y estadísticas que sirven para utilizar el método DMIAC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) y reducir o suprimir los 7+1 desperdicios que existen para poder cumplir con lo defectos, tiempos, demanda del cliente. Las etapas en las que fue dividido el proyecto se presentan en la figura 13 (Kaizen Institute).



Figura 14 Metodología DMIAC. Fuente: Elaboración propia en base a Kaizen Institute.

En el presente proyecto se revisaron 3 metodologías o enfoques diferentes para resolver la problemática que se tiene sobre la capacidad de producción en el área de conformal. Donde se evaluaron sus objetivos, procesos o etapas.

3.6 Herramientas utilizadas.

Este tema de tesis abordará la metodología de Lean Six Sigma con la herramienta DMAIC mediante la incorporación de los cinco ¿Por qué?, así como otras herramientas como diagrama de Ishikawa, AMEF, OEE entre otros. A continuación, se presentará la propuesta metodológica donde se describen cada una de las etapas y herramientas que serán utilizadas durante estas fases.

El proyecto se desarrolla en 5 fases las cuales se describen a continuación.

3.6.1 Fase de definición

Durante esta fase se busca recolectar toda la información necesaria para obtener los datos existentes, en dado caso de que no existan, habrá que conseguirlos con las posibles áreas o con el cliente. Durante esta fase se hace uso de la técnica cinco ¿Por qué? del área para realizar una búsqueda de objetivos, además de observar los alcances del proyecto. Los pasos que se van a desarrollar se muestran en la figura 14.

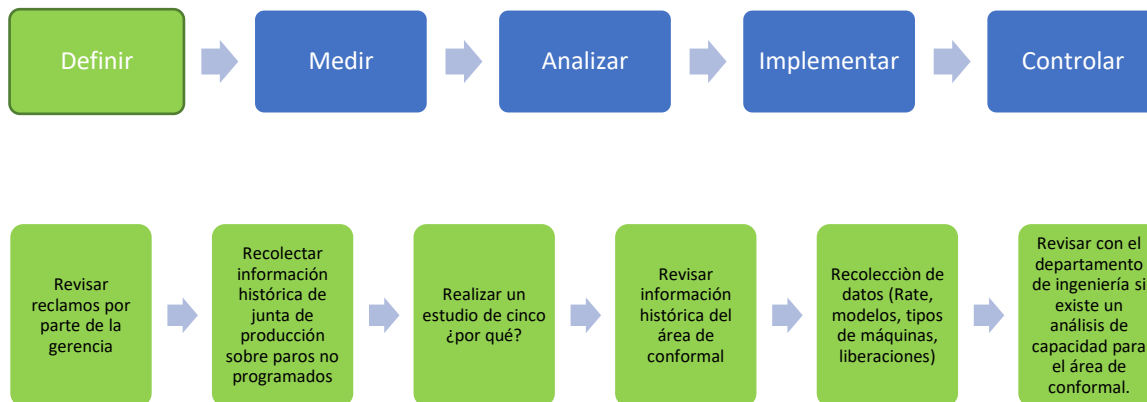


Figura 15 Pasos para realizar la fase de Definir. Fuente: Elaboración propia.

3.6.2 Fase de medición

Durante esta se pretende medir y verificar la exactitud del estado actual, esta etapa pretende responder a la pregunta de ¿Cómo sabemos que el problema que se está presentando en realidad es un problema? Este paso de la metodología tiene como objetivos empezar a cuantificar los problemas además de validar que las fuentes mediante las cuales se mide actualmente el indicador sean confiables. Adicionalmente, nos ayuda a tener una visión amplia del proceso y del negocio y de esta manera podemos definir prioridades y tomar decisiones acertadas en la medida que se necesiten. Los pasos que se van a realizar se muestran en la figura 15.

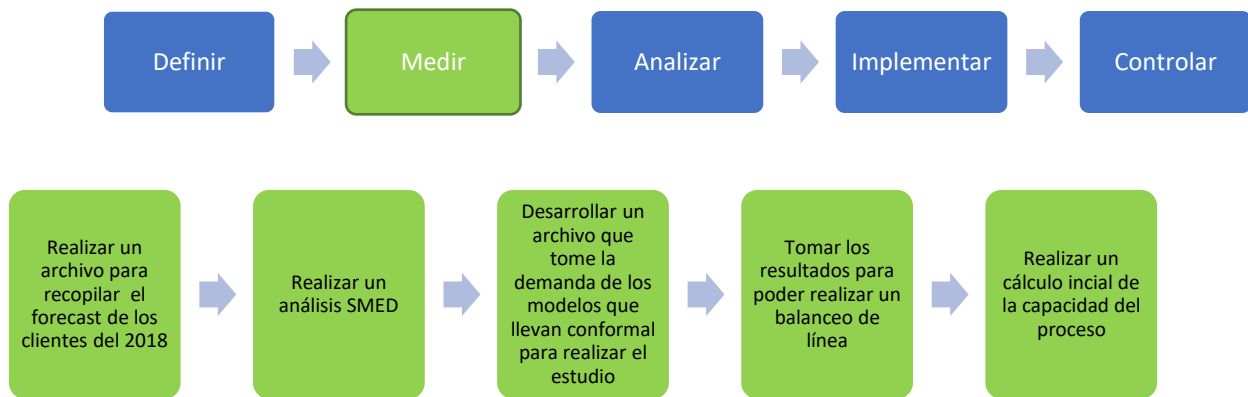


Figura 16 Pasos para realizar la fase de Medir. Fuente: Elaboración propia.

3.6.3 Fase de analizar

Durante esta fase se busca analizar y determinar causas e investigar sobre las relaciones entre el rendimiento de los procesos y las entradas, así como buscar posibles soluciones como estudios diferentes para poder cumplir los objetivos e hipótesis del proyecto que es la adquisición de nuevo equipo en el área de conformal. Primero, se buscará reducir lo más posible el proceso productivo en reuniones con diferentes áreas de la empresa para poder lograr una mejora. Mientras tanto se analiza la compra de nuevo equipo para poder planificar la instalación en planta a su llegada. Los pasos que se van a realizar se muestran en la figura 16.

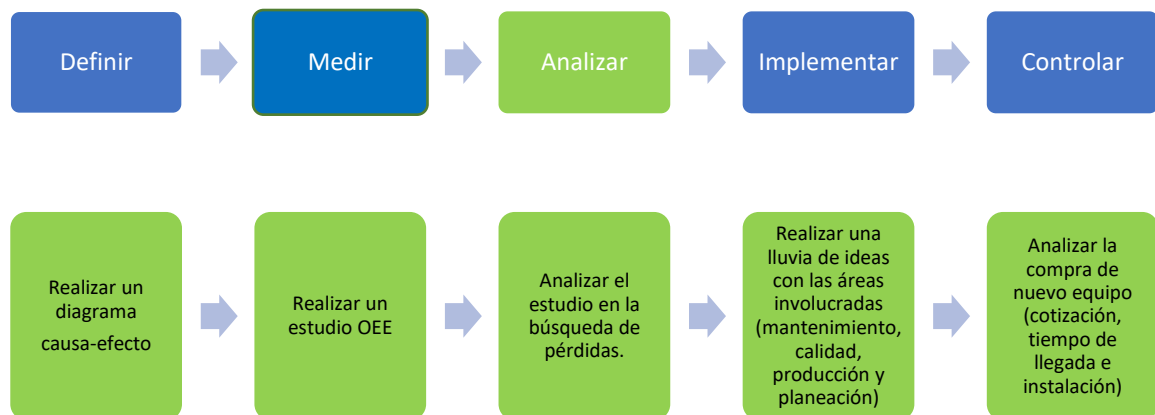


Figura 17 Pasos para realizar la fase de Analizar. Fuente: Elaboración propia.

3.6.4 Fase de implementar

En esta fase se implementan ideas de mejora del proceso para cumplir los objetivos, los cuales son: reducir el tiempo ciclo de varios modelos, liberaciones de calidad y de mantenimiento, así como tener las bases necesarias para explicar a la empresa y al corporativo la adquisición de nuevo equipo validado en simulaciones. Así mismo se mostrarán varios estudios, primero el actual con las mejoras ya realizadas, posteriormente simulaciones con los equipos necesarios para cubrir la demanda del cliente con una visión obtenida del forecast para proponer un headcount del proceso anual. Esto se refiere a que quede considerado dentro del presupuesto anual. Los pasos que se van a realizar se muestran en la figura 17.

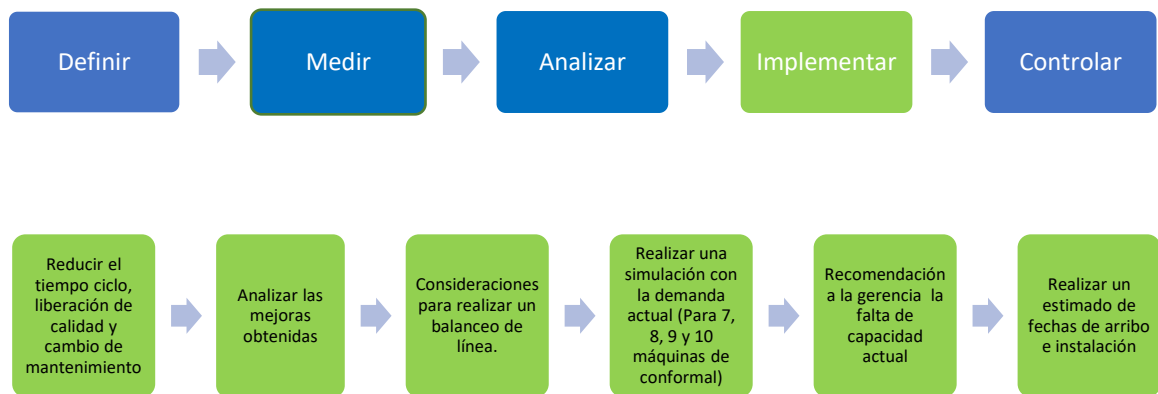


Figura 18 Pasos para realizar la fase de Implementar. Fuente: Elaboración propia.

3.6.5 Fase de Controlar

En esta fase se busca controlar las acciones ya realizadas, para mantener un control y evitar paros no programados en el proceso de conformal. Se realizan estudios mensuales sobre la variación de la demanda, manteniendo la mejora continua del área, mantener reuniones constantes con el equipo de ventas en la llegada de nuevos proyectos, así como incluir al equipo de ingeniería, para que aporten ideas de mejoras sobre métodos de aplicación de conformal, así como la implementación de nuevos modelos de rate y mantener los OEE en porcentajes elevados aceptables. Los pasos que se van a realizar se muestran en la figura 18.

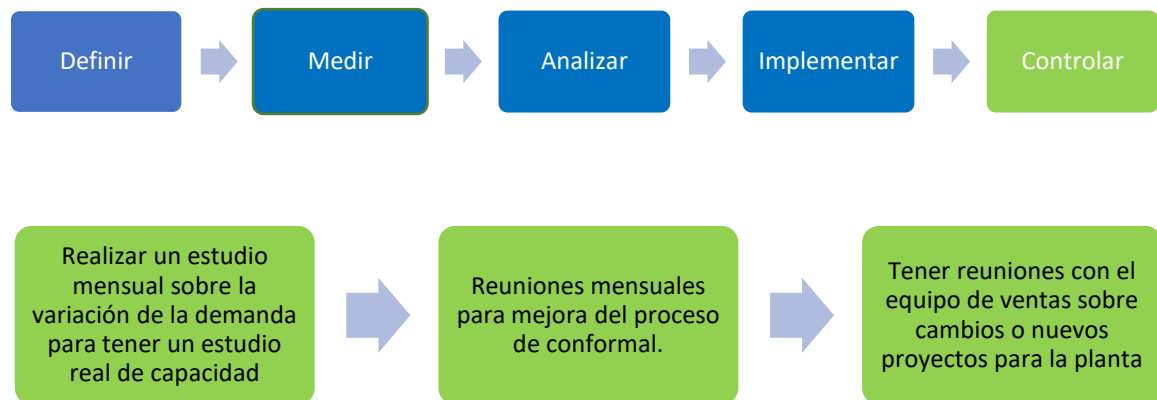


Figura 19 Pasos para realizar la fase de controlar. Fuente: Elaboración propia.

Se describieron cada uno de los pasos de la metodología que se va a utilizar y las herramientas que se van a implementar en cada una de las etapas. Esta metodología como herramientas fueron seleccionadas debido a la característica de investigación, el entorno en el que se ubica el objeto de estudio y el tipo de información que se maneja. A lo largo del capítulo se aprendió como se puede realizar un trabajo de investigación llevado a los practico, buscando las debilidades que se tienen como las ventajas para poder llegar a un proyecto efectivo y rentable para la empresa como para el trabajo del departamento.

4 Análisis de resultados de la metodología DMAIC para la toma de decisiones.

Se aplicarán las herramientas a utilizar en este proyecto por las fases de DMAIC para poder demostrar y responder la pregunta de investigación. La situación actual y la problemática se relaciona con la falta de capacidad de la producción en el área de conformal debido a los paros tan constantes que se tienen. Al día se tienen en promedio 8 cambios por maquina esto sucede al solo contar con 4 conformal para poder surtir todo el proceso de producción de ensamble que son 40 líneas productivas.

4.1 Paso 1: Definir

4.1.1 Revisar reclamos por parte de la gerencia

Para seguimiento del plan de producción se realiza una reunión diaria con las áreas involucradas (Producción, mantenimiento, ingeniería, calidad, etc.) esto para saber cuál fue la causa raíz y si ya fue solucionado el problema. Se mando un correo diario con los porcentajes de producción como problemas que se tuvieron durante el día, solo el área de conformal, como lo muestra la tabla 7 en donde se muestra un ejemplo de los problemas como porcentajes de productividad.

Tabla 7 Ejemplo de productividad en el área de conformal del 19 de agosto 2018 como muestra de problemas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla de productividad del área de conformal - 19 de agosto del 2018						
Línea	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Total	Atraso	Problema
Conformal 1	48%	11%	37%	32%	2 shift	Falla de máquina
Conformal 2	92%	47%	80%	73%	1 shift	Falta de material
Conformal 3	91%	62%	70%	74%	1 shift	
Conformal 4	51%	93%	59%	68%	1 shift	Trazabilidad por Middle Test

4.1.2 Recolectar información histórica de junta de producción sobre paros no programados

Se tomó un histórico por máquina sobre los paros que se presentaron a lo largo de 15 días para medir los tiempos muertos programables; estos son considerables para la planeación como los son: cambios de modelo, purga de maquina y liberación de maquina como los paros no programables que son defectos de calidad, piezas perdidas en el WIP, fallas de máquina y falta de trazabilidad, como lo muestra la tabla 8.

Tabla 8 Paros en el área de conformal y problemas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla de incidencias del área de conformal - 19 de agosto del 2018							
Fecha	Turno	Supervisor	Modelo	Área Responsable	Problema	Inicio	Final
8/19/2018	1	Everardo	P42M BUL Backup	SMT	Material con falta de trazabilidad	8:00	8:16
8/19/2018	1	Everardo	P42M BUL Backup	Mantenimiento	Purga de máquina	9:00	9:44
8/19/2018	1	Everardo	P42M BUL Backup	Mantenimiento	Cambio de modelo	10:00	10:20
8/19/2018	1	Everardo	P42M BUL Backup	Mantenimiento	Purga de máquina	11:00	12:00
8/19/2018	2	Luis	150B LDM	SMT	FALTA DE MATERIAL	5:00	5:15
8/19/2018	2	Luis	150B LDM	SMT	FALTA DE MATERIAL	6:00	6:30
8/19/2018	2	Luis	P33A BUL A LH	Ingeniería	Prueba de ingeniería	7:00	7:50
8/19/2018	2	Luis	P33A BUL A RH	Ingeniería	Prueba de ingeniería	8:00	8:18
8/19/2018	2	Luis	TJBA BUL LDM	Mantenimiento	Cambio de modelo	8:18	8:58
8/19/2018	2	Luis	TJBA BUL LDM	Mantenimiento	Ajuste por burbujas	9:00	9:50
8/19/2018	2	Luis	TJBA BUL LDM	Ingeniería	RATE NO ALCANADO	9:00	9:30
8/19/2018	3	Miriam	TJBA BUL LDM	Ingeniería	RATE NO ALCANADO	11:30	11:39
8/19/2018	3	Miriam	TJBA BUL LDM	Ingeniería	RATE NO ALCANADO	12:00	12:36

4.1.3 Realizar un estudio de cinco ¿por qué?

Con la información obtenida por el momento se realiza un estudio 5 porque mediante la figura 19.

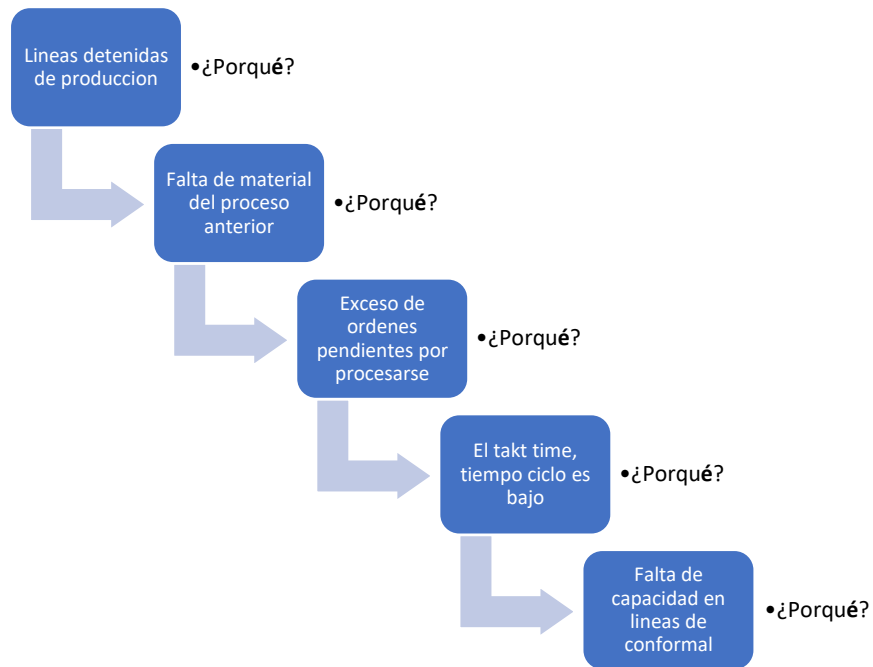


Figura 20 Diagrama de 5 porque para la resolución del problema del área de conformal.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Revisar información histórica del área de conformal

Se solicita al responsable de la planeación de conformal (persona de sistemas IT) e ingeniería, los modelos que se producen en el área de conformal (actuales como modelos nuevos).

Se entrega una tabla con 19 modelos que están corriendo como producción masiva y en que maquinas puede correr, así como modelos nuevos, de acuerdo con la tabla 9.

Tabla 9 Balanceo de modelos. Fuente: Elaboración propia.

MODELOS	MODELOS NPI	C1	C2	C3	C4
T7SA SAE					
989A CHL DRL PARK					
K2CC/CG LDM					
P42J LDM SAE					
P42J LDM ECE					
227B CHL DRL PARK					
TZ5X LDM					
T7AWW LDM					
TG7X BUL LDM					
TG7X RCL LDM					
TG7X CHL LDM					
L42P LDM					
TJBA BUL LDM					
TJBA FLF LDM					
S550 LDM					
L42P CHL BC					
305B DRL LH					
305B DRL RH					
P42M BUL BACK UP					
		MODELOS QUE LLEVAN COGISTAN			
		MODELOS NPI			
		MODELOS OK			

Al revisar la tabla el departamento de control de producción se observa que faltan 14 modelos que no están agregados a la lista.

4.1.5 Recolección de datos (Rate, modelos, tipos de máquinas, liberaciones)

El proceso de aplicación de conformal es por revestimiento selectivo y horno de curado.

Figura 20.



Figura 21 Proceso del área de conformal. (Fotografías tomada de la empresa, Elaboración propia).

Con los modelos que contaba ingeniería y la personal a cargo de planeación, se recopilan el tiempo ciclo desde la aplicación hasta la salida del horno. El tiempo ciclo se tiene en segundos. Tabla 10.

Tabla 10 Tiempos ciclos actualizados. Fuente: Elaboración propia

Modelo	Rate (s)
227B	122
305B DRL LH	143
305B DRL RH	143
989A	122
K2CC/CG LDM	521
L42P CHL BC	118
L42P LDM	568
P42J LDM ECE	218
P42J LDM SAE	218
P42M BUL Backup	238
S550 LDM	568
T7AW LDM ME	418
T7SA SAE	128
TG7X BUL LDM	140
TG7X CHL LDM	276
TG7X RCL LDM	128
TJBA BUL LDM	183
TJBA FLF LDM	718
TZ5X LDM	511

El proceso de liberación de una pieza es por turno por parte del departamento de calidad. El criterio de liberación es diferente por cada inspector de calidad debido a que no se cuenta con una ayuda visual para la liberar la producción.

4.1.6 Revisar con el departamento de ingeniería si existe un análisis de capacidad para el área de conformal.

Se revisa con el departamento de ingeniería, pero no se cuenta con análisis de capacidad para el área de conformal. Se avisa al gerente de planeación para revisar el estatus y se toma la decisión de pasar el proyecto a planeación para su seguimiento.

4.2 Paso 2: Medir

4.2.1 Realizar un archivo para recopilar el forecast de los clientes del 2018

Se recopila información de los productos o modelos de la compañía del 2018 para los meses de junio 2018 a diciembre 2019 (tabla 11). Solo están los productos de producción masivos, los nuevos productos son controlados por el departamento de ingeniería.

Al revisar los datos se puede visualizar el número de parte, modelo, así como la clasificación del proyecto, cobertura con el cliente, posterior la demanda semanal, así como la demanda mensual. Se busca revisar todos estos datos colocarlos en un análisis y medir la capacidad como principal objetivo y la variación del forecast. Estos datos se van a mostrar en las siguientes fases del medir dando como resultado la condición actual de la compañía.

Forecast de producción – Octubre 2019

Número de parte	Modelo	Proyecto	Cobertura en días	CW41 07-oct-19	CW43 14-oct-19	CW44 28-oct-19	Total Octubre
945 275-31REVC	MP / NNR / SEM - 010B BUL PCA ÁBC LH KIT Rev.C		44	1,200	1,520	1,200	3,200
945 275-39REVC	MP / NNR / SEM - 010B BUL PCA ABC RH KIT Rev.C		41	1,380	1,480	1,440	5,890
945 275-49REVB	MP / NNR / SEM - 010B BUL PCA F LH Rev. B		19	1,380	1,440	1,400	5,690
945 275-40REVB	MP / NNR / SEM - 010B BUL PCA F RH Rev. B		21	1,275	1,455	1,590	5,425
945 275-50REVB	MP / NNR / SEM - 010B BUL PCA D LH Rev. B		41	1,275	1,455	1,900	5,435
945 275-56REVB	MP / NNR / SEM - 010B BUL PCA D RH Rev. B		42	1,275	1,455	1,596	5,425
947 585-91	160B LDM		560	1,300	1,540	1,340	96
947 585-92	160B LDM		983	1,590	1,440	1,530	8,15
947 585-92	MP / NNR / SEM - 145B CHL CLL PARK LH		590	780	950	950	2,50
948 427-53	MP / NNR / SEM - 145B CHL CLL PARK RH		985	50	630	56	3,50
948 427-53	MP / NNR / SEM - K2CC FLF LH PCA		43	532	642	672	2,920
948 427-54	MP / NNR / SEM - K2CC FLF RH PCBA		71	550	624	675	2,495
948 428-23	MP / NNR / SEM		381	90	80	80	270
948 428-24	MP / NNR / LDM		360	50	60	60	260
948 428-27	MP / NNR / LDM		46	1,300	1,440	1,440	5,220

Tabla 11. Forecast cliente junio 2018 a diciembre 2019. Fuente: Elaboración propia

4.2.2 Realizar un análisis SMED Desarrollar un archivo que tome la demanda de los modelos que llevan conformal para realizar el estudio

En este apartado se van a revisar los objetivos que se quieren plantear para realizar un análisis de capacidad correcto.

- Realizar una toma de tiempo ciclo de los modelos que llevan el proceso de conformal.
- Revisar el proceso de liberación de calidad.
- Revisar tiempo de cambios de modelos (actual 20 minutos).
- Realizar un balanceo de línea con los modelos actuales.
- Realizar con otros departamentos mejoras en el proceso (reducción de tiempo ciclo, fallas de equipo y ahorros para el área)
- Purgado de máquina de tipo de conformal transparente a azul y viceversa

Estas actividades que se van a realizar es la con función de reducir el tiempo ciclo 10% menos, cambios de modelo una reducción del 50%, una reducción de liberación de 5 minutos y balanceo de línea para modelos con conformal color transparente.

4.2.3 Desarrollar un archivo que tome la demanda de los modelos que llevan conformal para realizar el estudio

Se seleccionan los modelos que llevan el proceso de conformal por cliente y por demanda semanal. Tabla 12.

Tabla 12 Requerimiento del cliente por modelos junio 2018 a diciembre 2019 solo modelos que llevan el proceso de conformal.

Fuente: Elaboración propia

Forecast de producción – Septiembre a Enero							
Part Number	Modelo	Sets	Septiembre Qty	Octubre Qty	Noviembre Qty	Diciembre Qty	Total Qraibie
N925L33510	MAIN BOARD 118 (TOP)	8	3,700	3,440	4,100	5,200	5,440
10034-8A07R	625B LB LDM (TOP)	12	16,737	15,613	13,625	15,000	5,880
945 250-64	760A (TOP)	12	56,170	58,080	57,216	48,672	5,630
947 810-95	291B HB (TOP)	12	3,700	3,440	4,100	5,200	5,440
947 810-93	291B LB (TOP)	12	3,700	3,440	4,100	5,200	5,440
N925L33511	MAIN BOARD STRADA (TOP)	8	3,700	3,440	4,100	5,200	5,440
947 460-39	150B LDM	10	33,120	31,320	35,040	29,880	48,000
10109-18955	227B	1	21	23	22	0	0
10089-18987	305B DRL LH	1	9,773	9,191	7,744	6,875	10,579
10189-18987	305B DRL RH	1	9,773	9,191	7,744	6,875	10,579
10109-18570	989A	1	11,443	10,986	14,222	12,098	12,586
10189-18570	999A	1	90	60	60	60	270
10189-83378	949A	1	30	50	60	60	220
10189-18570	938A	1	30	90	60	60	240

4.2.4 Tomar los resultados para realizar un balance de línea

Se realiza un balanceo de línea con los modelos actuales.

Al realizar el balanceo se encuentra una diferencia nuevamente con el departamento de ingeniería. Con la tabla 13 el modelo 291B HB tiene lado top y bottom, este modelo lleva conformal tanto por la parte de arriba como la parte de abajo, esta especificación no se comunicó al inicio del proyecto afectando la capacidad del área de conformal.

Tabla 13 Balanceo de modelos. Fuente: Elaboración propia

947 460-39	150B LDM	1
10109-18955	227B	1
10089-18987	305B DRL LH	1
10178-8A07R	625B BG	1
10178-8A07S	625B HG	1
10109-18570	989A	1
948 428-27	K2CC/CG LDM	1
949 372-46	TG7X CHL LDM	1
949 335-19	TZ5X LDM	1
35500-8D023	L02D DRL LDM	1
35500-8D022	L02D LO/HI LDM	1
N925L33510	MAIN BOARD 118 (BOTTOM)	2
10034-8A07R	625B LB LDM (BOTTOM)	2
945 250-64	760A (BOTTOM)	2
947 810-95	291B HB (BOTTOM)	2
947 810-93	291B LB (BOTTOM)	2
N925L33511	MAIN BOARD STRADA (BOTTOM)	2

4.2.5 Realizar un cálculo inicial de la capacidad del proceso

Se realiza un cálculo de capacidad inicial (Figura 21), mostrando que la capacidad actual de la planta no cubre con las necesidades requeridas por la compañía. Sin agregar los modelos que se encuentran en proceso de desarrollo.

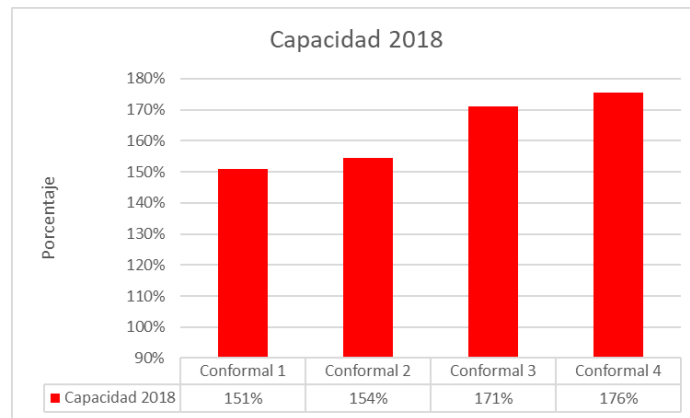


Figura 22 Capacidad actual de la planta en el 2018 muestra que la capacidad instalada no puede cumplir con la demanda del cliente. Fuente: Elaboración propia

Se realiza otro calculo agregando tiempo extra los fines de semana (figura 22); la diferencia que se tiene es mínima. Lo que demuestra que es necesario realizar acciones para satisfacer las necesidades del cliente interno y al cliente externo.

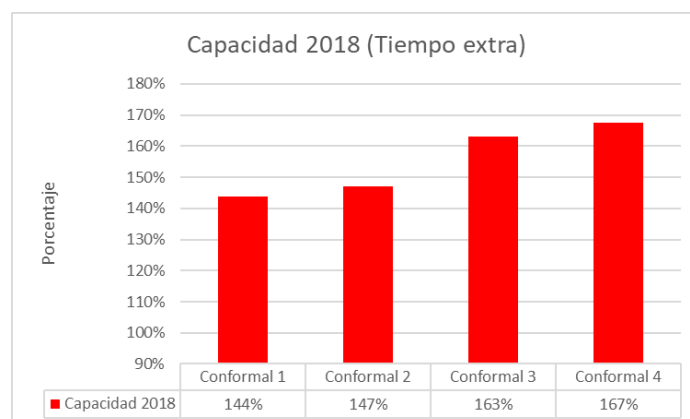


Figura 23 Capacidad actual de la planta con tiempo extra. Fuente: Elaboración propia

4.3 Paso 3: Analizar

4.3.1 Realizar un diagrama causa-efecto

Con los datos actualizados se realiza un nuevo diagrama de causa-efecto, figura 23.

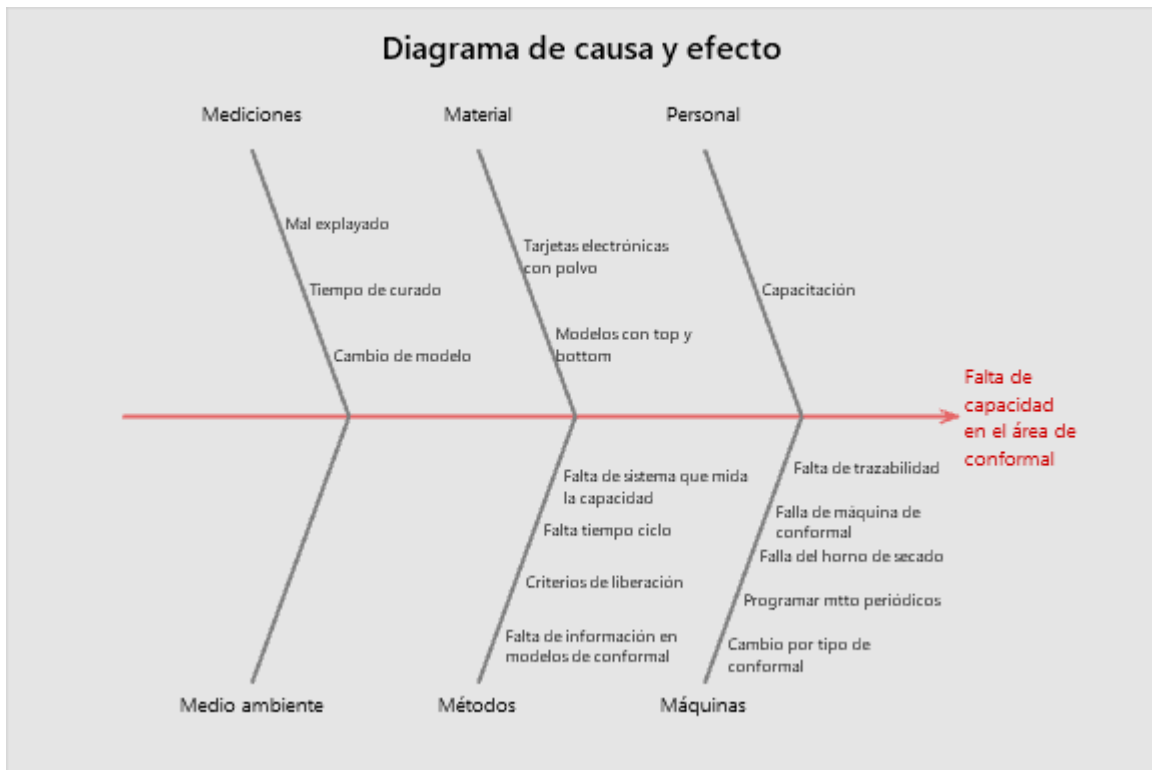


Figura 243 Diagrama de Causa y efecto, mostrando los principales problemas de la empresa.

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Realizar un estudio OEE

Durante el mes de agosto del 2018 se tomaron los datos productivos, calidad y paros más significativos para realizar un cálculo de OEE se van a tomar 3 valores importantes:

- Disponibilidad

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo disponible de máquina}}$$

Tiempo disponible es el tiempo total de la maquina; se cuenta con 24 hrs de producción.

Tiempo operativo cada 30 minutos por turno se realiza un paro debido al cambio de turno, el tiempo muerto que se tuvo por falta de trazabilidad de material (trazabilidad es cuando el material pasa por los procesos productivos, las piezas deben tener cierta información para su seguimiento vía sistema en ocasiones el material se procesa, pero no guarda información por lo cual el material se retrasa se le llama al departamento de tecnologías de la información para darle seguimiento), se tuvo paros de línea por falla de máquina. El tiempo operativo es de 18 hrs.

$$\text{Disponibilidad} = \frac{18 \text{ Hrs}}{24 \text{ Hrs}} \times 100 = 75\%$$

- Rendimiento

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción ideal}}$$

Producción ideal es lo que se está planeando respecto a la capacidad actual.

Producción real es la sumatoria de la producción de día anterior.

$$\text{Rendimiento} = \frac{44,028}{43,537} \times 100 = 101.12\%$$

- Calidad

$$Rendimiento = \frac{Total\ de\ piezas\ buenas\ real}{Total\ de\ piezas\ buenas\ ideal}$$

Total, de piezas buenas real son las piezas que salen sin defectos después de procesarse en el área productiva.

Total, de piezas buenas ideal es total de piezas. En el área de conformal al ser un proceso automatizado no se cuenta con piezas de scrap.

$$Calidad = \frac{44,028}{44,028} \times 100 = 100\%$$

- OEE

$$OEE = Disponibilidad \times Rendimiento \times Calidad$$

$$OEE = 75\% \times 101.12\% \times 100\% = 75.84\%$$

El resultado es de 75.84%, de acuerdo con el estándar es un nivel de eficiencia bueno con posibilidad de mejora.

4.3.3 Analizar el estudio en la búsqueda de pérdidas.

Con los datos tomados en el OEE durante el mes de agosto se encontraron varios tiempos que afectaron en la disponibilidad de máquina:

- Falta de trazabilidad en modelos de conformal. El material que se fabrica en la compañía tiene un código QR donde se registra toda la información proceso anterior, fecha de proceso (turno y operador), proceso posterior. Cuando al material le falta información no se puede procesar hasta que el departamento de Informática cargue los datos.
- Conductos de aplicación de conformal tapados y sucios (falta de purga). Los conductos tapados son ocasionados por la falta de limpieza en los conductos por el área de mantenimiento.
- Programas de aplicación de conformal borrados. El personal operativo accedía a los programas borrando la información,
- Fallas de horno de curado (temperatura baja o alta, cadena de transporte de material dañada).

Afectaciones de calidad

- Criterios de liberación diferentes por auditores de calidad.
- Liberación de producción tarde, el personal de calidad libera primera pieza 30 minutos después del arranque de turno.

Solicitudes de ingeniería para realizar programa de nuevos modelos para realizar pruebas.

Falta de materiales por parte del área de SMT afectando el área de conformal, en estos casos de falta de material producción toma la decisión de adelantar el modelo siguiente para no afectar la producción.

Falta de capacidad afectando líneas de ensamble.

4.3.4 Realizar una lluvia de ideas con las áreas involucradas (mantenimiento, calidad, producción y planeación)

Se realiza una junta con diferentes áreas para realizar una lluvia de ideas sobre problemas u oportunidades de mejora, tabla 14.

Tabla 14 Lluvia de idea. Fuente: Elaboración propia

Mantenimiento • Realizar un mantenimiento preventivo y predictivo de las líneas de conformal con apoyo de planeación para evitar paros de maquina por falla. • Revisar las condiciones del horno para evitar problemas con el horno. • Realizar el curado del horno para reducir el tiempo de curado. • Revisar los programas de aplicación de conformal para reducir el tiempo ciclo. • Reducir el cambio de modelo por mantenimiento.	Calidad • Criterios de liberación diferentes por falta de una ayuda visual. • Liberación tardía, el gerente de calidad se compromete a estar durante el cambio de turno para liberar la línea de conformal.
Producción • Darle seguimiento al plan de producción y avisar cualquier problema que se tenga. • Capacitar a los lideres de producción.	Planeación • Realizar un nuevo cálculo de tiempo ciclo. • Apoyar a mantenimiento con un plan para mantenimiento. • Realizar un nuevo formato de plan de producción. • Realizar un nuevo análisis de capacidad para presentar al personal japones.

4.3.5 Analizar la compra de nuevo equipo (cotización, tiempo de llegada e instalación)

La compañía con la que se realiza la cotización es I.C.T empresa especializada en fabricación de equipos de SMT, aplicación de conformal y así como accesorios.

Por motivos de confidencialidad no se puede compartir los costos. Pero se solicita la cotización de elevación de magazine, transportadora de PCB, máquina de recubrimiento, horno de curado con una dimensión de 3000*1150*1200 mm, transportadora de PCB, ajuste de magazine, válvulas de recubrimiento (válvula de dispersión de alta velocidad fina y gruesa).

El tiempo de llegada de la maquinaria es de 3 meses después de colocar la orden de compra. La instalación es de 15 días para realizar bajadas de energía eléctrica, aire comprimido, etc.

La propuesta del proyecto fue aceptada por la gerencia de la compañía solicitaron información para saber la cantidad de máquinas de conformal son necesarias para cubrir con la demanda actual y demanda esperada.

4.4 Paso 4: Implementar

4.4.1 Reducir el tiempo ciclo de los modelos, liberación de calidad y cambio de mantenimiento

Con lo visto en el punto 4.3.4 en la lluvia de ideas.

Se revisaron todos los tiempos ciclos y se calcularon los tiempos ciclos pendientes. En total se cuentan con 66 modelos que llevan conformal entre modelos NPI (New production Introduction o Introducción de Nuevos Productos).

Se redujo el tiempo ciclo de 18 segundos por modelo realizando ajustes en el método de aplicación por zonas y por tipo de boquilla (gruesa y fina). Figura 24.

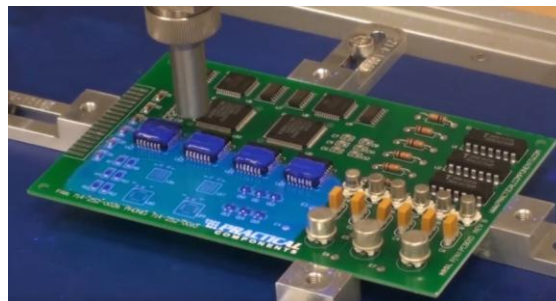


Figura 25 representación de aplicación de conformal. Fuente: Techspray.

Los cambios de modelo se redujeron de 20 minutos a 10 minutos se logra por dos condiciones:

- Por parte de planeación se programan modelos del mismo tamaño y características de aplicación similares, por ejemplo; 305B DRL LH y 305B DRL RH solo cambia la zona de

aplicación, aunque el tamaño es el mismo. Se programa realizar al día de 6 a 8 cambios por día.

- Se capacita al personal de mantenimiento para realizar los cambios de modelo, además que se contrata un técnico adicional por turno.
- Se programan mantenimientos preventivos y correctivos por semana, para realizar apagado de horno, purga de materiales y desensamble de equipo como limpiezas de máquina.

Por parte de calidad se capacita al personal nuevo y se entrena al personal actual, además se genera un ayuda visual por modelo para revisar la aplicación de conformal.

4.4.2 Implementar un estudio nuevo con las mejoras obtenidas, así como balanceo de líneas

Se realiza un nuevo balanceo de línea con las mejoras de los tiempos ciclos como se menciona en el apartado 3.4.1. (tabla 15)

Tabla 15 Primer balanceo con modelos del 2018. Fuente: Elaboración propia

CONFORMAL 1	CONFORMAL 2	CONFORMAL 3	CONFORMAL 4
227B	L42P CHL BC	P42J LDM ECE	T7AW LDM ME
305B DRL LH	L42P LDM	P42J LDM SAE	T7SA SAE
305B DRL RH	S550 LDM	P42M BUL Back	
989A	TJBA BUL LDM	TG7X BUL LDM	
K2CC/CG LDM		TG7X CHL LDM	
		TG7X RCL LDM	
		TJBA FLF LDM	
		TZ5X LDM	

Aun con la mejora de tiempos ciclo, el estudio muestra una mejora del 7% pero sigue sin cumplir con la capacidad necesaria para satisfacer las necesidades del cliente interno.

Figura 25.

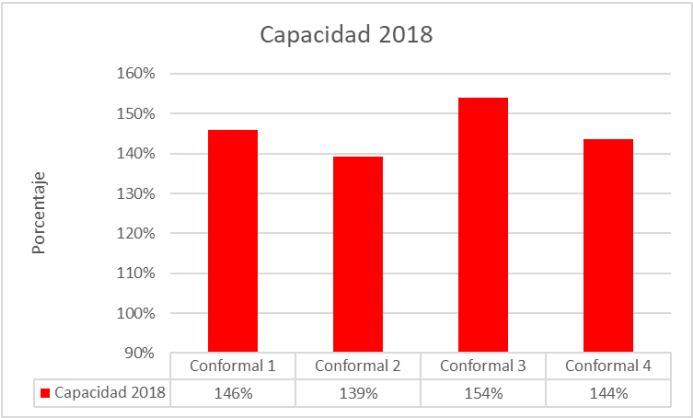


Figura 26 Gráfica de capacidad de producción del primer balanceo con mejora de tiempo ciclo.

Fuente: Elaboración propia

Se revisa situación con el personal japones y gerentes del área, en la junta se revisan varios puntos importantes:

- Se presenta la capacidad del área de conformal y se aprueba la compra de nuevo equipo.
- La gerencia proporciona nueva información sobre los modelos de conformal, el volumen va a incrementar por requerimiento del cliente la planta de Japón se traslada a la planta de México por temas logísticos. Además de los nuevos modelos que ya se tenía programados para el año 2019. En total se incrementan los modelos de 33 a 75 modelos, esto representa un incremento del 56%, de los cuales 6 modelos llevan el proceso de top y bottom.
- Se informa por parte de la gerencia que se acepta la propuesta de nueva maquinaria, pero el arribo del equipo es una por mes, la adquisición de maquinaria es de 3 máquinas de conformal nuevas. Gerencia solicita al departamento de planeación un nuevo análisis de capacidad agregando con 3 máquinas nuevas.

4.4.3 Consideraciones para realizar un balance de línea.

Consideraciones para realizar el balanceo de línea:

- Tipo de conformal azul y transparente. Para realizar un cambio de tipo de conformal azul a transparente se necesita realizar una purga por dos horas para hacer el cambio de color. Tabla 16.

Tabla 16 Tipos de revestimiento por modelo. Fuente: Elaboración propia

Tipo de revestimiento		
Azul		Transparente
625B LB LDM	625B CHL LDM	MAIN BOARD 118
760A	625B HB LDM	MAIN BOARD STRADA
291B HB	550B LDM HG	150B BSM
291B LB	550B DRL BG	
150B LDM	550B LDM BG	
227B	550B DRL LTD	
305B DRL LH	550B DRL PTL	
305B DRL RH	L02D DRL LDM	
625B BG	L02D LO/HI LDM	
625B HG	685B HG E	
989A	685B HG D	
K2CC/CG LDM	685B BG AE	
L42N LDM	685B BG AD	
L42P 1.5 CHL A	625B G+H	
L42P CHL BC	P33A BUL A LH	
L42P LDM	P33A BUL A RH	
P42J LDM ECE	P33A FCL LDM	
P42J LDM SAE	P33A RCL C LH	
P42M BUL Backup	P33A RCL C RH	
P42M BUL LDM ECE	TG7A LB LDM	
P42M BUL LDM SAE	TG7A DRL LDM	
P42M CHL LDM	TBAW LDM	
P42M RCL C+D	P32R LDM	
S550 LDM	L42N LDM LB	
T7AW LDM BR	P42Q CHL LDM SAE	
T7AW LDM ME	P42Q CHL LDM ECE	
T7SA SAE	P42Q RCL A+B SAE LH	
TG7X BUL LDM	P42Q RCL A+B SAE RH	

- Aplicación de conformal por un lado o por ambos lados. Se cuenta con modelos que llevan aplicación por arriba y por debajo de la PCB. Tabla 17.

Tabla 17 Aplicación de conformal un lado o dos lados. Fuente: Elaboración propia

Aplicación de conformal		
Un lado (Solo arriba)		Dos lados (Arriba y abajo)
150B LDM	550B DRL BG	MAIN BOARD 118
227B	550B LDM BG	MAIN BOARD STRADA
305B DRL LH	550B DRL LTD	625B LB LDM
305B DRL RH	550B DRL PTL	760A
625B BG	L02D DRL LDM	291B HB
625B HG	L02D LO/HI LDM	291B LB
989A	685B HG E	
K2CC/CG LDM	685B HG D	
L42N LDM	685B BG AE	
L42P 1.5 CHL A	685B BG AD	
L42P CHL BC	625B G+H	
L42P LDM	P33A BUL A LH	
P42J LDM ECE	P33A BUL A RH	
P42J LDM SAE	P33A FCL LDM	
P42M BUL Backup	P33A RCL C LH	
P42M BUL LDM ECE	P33A RCL C RH	
P42M BUL LDM SAE	TG7A LB LDM	
P42M CHL LDM	TG7A DRL LDM	
P42M RCL C+D	TBAW LDM	
S550 LDM	P32R LDM	
T7AW LDM BR	L42N LDM LB	
T7AW LDM ME	P42Q CHL LDM SAE	
T7SA SAE	P42Q CHL LDM ECE	
TG7X BUL LDM	P42Q RCL A+B SAE LH	
TG7X CHL LDM	P42Q RCL A+B SAE RH	

4.4.4 Realizar una simulación con la demanda actual y mejores previamente obtenidas
(7 máquinas de conformal)

Se realiza un nuevo análisis con los datos obtenidos por la gerencia agregando 3 máquinas extras, además del incremento del volumen comentado en la reunión pasada, se obtiene un balanceo de línea (tabla 18) actualizado considerando las 3 máquinas de conformal extras. La simulación se esta realizando en mes de junio del 2018 para poder presentar la información a la gerencia.

Tabla 18 Balanceo de modelos con 7 máquinas de conformal. Fuente: Elaboración propia

CONFORMAL 1	CONFORMAL 2	CONFORMAL 3	CONFORMAL 4
150B LDM	305B DRL LH	291B HB	625B LB LDM
K2CC/CG LDM	305B DRL RH	291B LB	625B BG
L42P CHL BC	P42J LDM ECE	227B	625B HG
TG7X CHL LDM	P42J LDM SAE	989A	P42M BUL Bac
TZ5X LDM	GC7 LDM	P42M BUL LDM	P42M C+D
L02D DRL LDM	550B LDM HG	P42M BUL SAE	TG7X LDM
L02D LO/HI LDM	550B DRL BG	T7AW LDM BR	TJBA BUL LDM
	550B LDM BG	T7AW LDM ME	625B DRL LDM
	550B DRL LTD	TG7X BUL LDM	625B CHL LDM
	550B DRL PTL	P33A BUL A LH	625B HB LDM
	P42Q RCL A+B LH	P33A BUL A RH	625B G+H
	P42Q RCL A+B RH	P33A FCL LDM	
	P42Q RCL A+B2 RH	P33A RCL C LH	
	P42Q RCL A+B2 LH	P33A RCL C RH	
	P42Q BUL A+B+C LH		
	P42Q BUL A+B+C RH		
	P42Q RCL A+C LH		
	P42Q RCL A+C RH		

CONFORMAL 5	CONFORMAL 6	CONFORMAL 7
MAIN BOARD 118	760A	P42M CHL LDM
MAIN BOARD STRADA	L42N LDM	T7SA SAE
L42P LDM	L42P 1.5 CHL A	TJBA FLF LDM
150B BSM	S550 LDM	U625 FLF
TG7A LB LDM		685B HG E
TG7A DRL LDM		685B HG D
TBAW LDM		685B BG AE
P32R LDM		685B BG AD
L42N LDM LB		
P42Q CHL LDM		
P42Q1 CHL LDM		

Con el balanceo de línea considerando 7 máquinas se demuestra que aun con la adquisición de 3 nuevas máquinas la capacidad no cumple aun con los requerimientos del cliente. Figura 26.

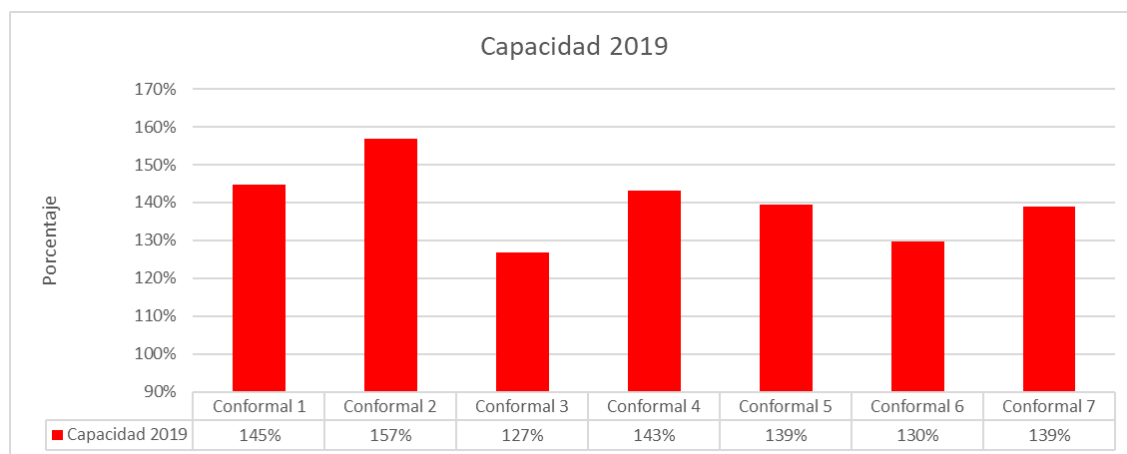


Figura 27 Gráfica de capacidad considerando 7 máquinas de conformal. Fuente: Elaboración propia

Con la gráfica y estudio mostrado en el apartado 4.2.5 se muestra a la gerencia la falta de capacidad del área de conformal y se proponen dos opciones:

- Reducir la demanda hasta obtener un forecast adecuado a la capacidad actual.
- Proponer adquirir más equipo de aplicación de conformal, este cálculo se obtuvo del análisis de capacidad contemplando 7 máquinas al realizar un promedio entre todas las maquinas se obtiene un resultado de 140% (tabla 19) esto significa que es necesario adquirir más equipo nuevo para poder cumplir con el requerimiento del cliente.

Tabla 19 Capacidad de conformal en porcentajes % con 7 máquinas. Fuente: Elaboración propia

Conformal 1	145%
Conformal 2	157%
Conformal 3	127%
Conformal 4	143%
Conformal 5	139%
Conformal 6	130%
Conformal 7	139%
Promedio	140%

4.4.5 Realizar una simulación con la demanda actual y mejores previamente obtenidas (9 máquinas de conformal)

Se realiza un nuevo balanceo de línea considerando 9 máquinas de conformal (tabla 20), dando como resultado un promedio de producción de 109% (tabla 21), esto significa que la capacidad actual con las 9 máquinas es aún insuficiente (en cada caso realiza un nuevo balanceo de línea). También se demuestra en la figura 27 gráficamente la falta de capacidad.

Tabla 20 Balanceo de modelos con 9 máquinas de conformal. Fuente: Elaboración propia

CONFORMAL 1	CONFORMAL 2	CONFORMAL 3	CONFORMAL 4
K2CC/CG LDM	L42P LDM	227B	625B LB LDM
L42P CHL BC	P42J LDM ECE	989A	TG7X RCL LDM
S550 LDM	P42J LDM SAE	P42M BUL LDM	TJBA BUL LDM
TG7X CHL LDM	TZ5X LDM	P42M LDM	625B DRL LDM
L02D DRL LDM	GC7 LDM	T7AW LDM BR	625B CHL LDM
L02D LO/HI LDM	P42Q RCL A+B SAE LH	T7AW LDM ME	625B HB LDM
	P42Q RCL A+B SAE RH	TG7X BUL LDM	625B G+H
	P42Q RCL A+B ECE RH	P33A BUL A LH	
	P42Q RCL A+B ECE LH	P33A BUL A RH	
	P42Q BUL A+B+C PCA LH	P33A FCL LDM	
	P42Q BUL A+B+C PCA RH	P33A RCL C LH	
	P42Q RCL A+C SAE LH	P33A RCL C RH	
	P42Q RCL A+C SAE RH		
	P42Q RCL A+C ECE LH		
	P42Q RCL A+C ECE RH		

CONFORMAL 5	CONFORMAL 6	CONFORMAL 7	CONFORMAL 8
MAIN BOARD 118	760A	305B DRL LH	T7SA SAE
MAIN BOARD STRADA	550B LDM BG	305B DRL RH	U625 FLF
L42N LDM	550B DRL LTD	P42M BUL Back	685B HG E
L42P 1.5 CHL A	550B DRL PTL	P42M RCL C+D	685B HG D
P42M CHL LDM	TG7A LB LDM	TJBA FLF LDM	685B BG AE
TG7A DRL LDM	TBAW LDM		685B BG AD
P32R LDM			
L42N LDM LB			
P42Q CHL LDM			
P42Q CHL ECE			

CONFORMAL 9
291B HB
291B LB
150B LDM
625B BG
625B HG
550B LDM HG
550B DRL BG
150B BSM

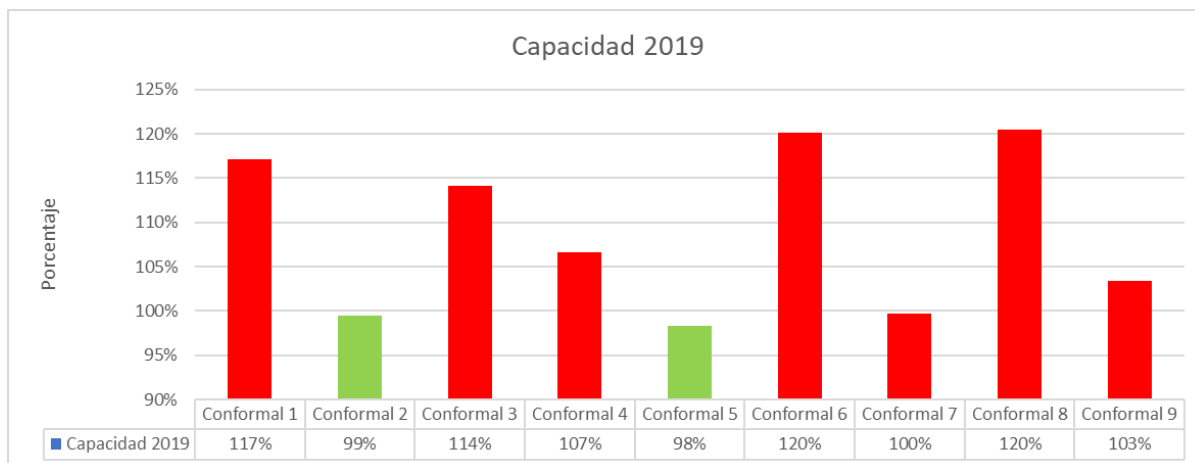


Figura 28 Gráfica de capacidad considerando 9 máquinas de conformal. Se observa la falta de capacidad que se tiene con 9 máquinas Fuente: Elaboración propia

Tabla 21 Capacidad de conformal en porcentajes % con 9 máquinas. Fuente: Elaboración propia

Conformal 1	117%
Conformal 2	99%
Conformal 3	114%
Conformal 4	107%
Conformal 5	98%
Conformal 6	120%
Conformal 7	100%
Conformal 8	120%
Conformal 9	103%
Promedio	109%

4.4.6 Realizar una simulación con la demanda actual y mejores previamente obtenidas
(10 máquinas de conformal)

Se realiza un nuevo análisis considerando 10 máquinas de conformal (tabla 22), dando como resultado un promedio de producción de 98% (tabla 23), esto significa que la capacidad actual con las 10 máquinas es suficiente (en cada caso realiza un nuevo balanceo de línea) (Figura 28).

Tabla 22 Balanceo de modelos con 10 máquinas de conformal. Fuente: Elaboración propia

CONFORMAL 1	CONFORMAL 2	CONFORMAL 3	CONFORMAL 4
K2CC/CG LDM	L42P LDM	227B	625B LB LDM
P42M BUL LDM ECE	P42J LDM ECE	989A	TJBA BUL LDM
P42M BUL LDM SAE	P42J LDM SAE	T7AW LDM ME	625B DRL LDM
S550 LDM	TZ5X LDM	TG7X BUL LDM	625B CHL LDM
T7AW LDM BR	GC7 LDM	P33A BUL A LH	625B HB LDM
TG7X CHL LDM	P42Q RCL A+B SAE LH	P33A BUL A RH	625B G+H
CONFORMAL 5	CONFORMAL 6	CONFORMAL 7	CONFORMAL 8
MAIN BOARD 118	625B HG	305B DRL LH	T7SA SAE
MAIN BOARD STRADA	L42P CHL BC	305B DRL RH	685B HG E
L42N LDM	550B LDM BG	P42M BUL Back	685B HG D
L42P 1.5 CHL A	550B DRL LTD	P42M RCL C+D	685B BG AE
P42M CHL LDM	550B DRL PTL	TJBA FLF LDM	685B BG AD
CONFORMAL 9	CONFORMAL 10		
291B HB	760A		
291B LB	U625 FLF		
150B LDM			
625B BG			
550B LDM HG			
150B BSM			

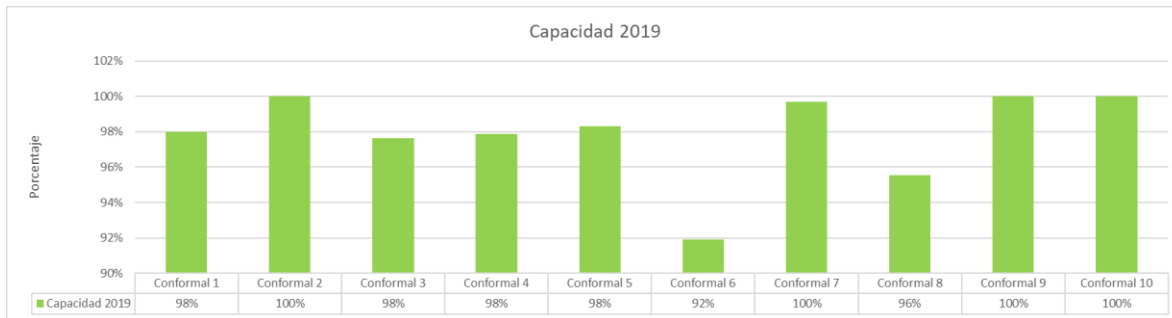


Figura 29 Gráfica de capacidad considerando 10 máquinas de conformal demostrando que al tener 10 máquinas de conformal la demanda puede cumplirse. Fuente: Elaboración propia

Tabla 23 Capacidad de conformal en porcentajes % con 10 máquinas. Fuente: Elaboración propia

Conformal 1	92%
Conformal 2	99%
Conformal 3	98%
Conformal 4	98%
Conformal 5	98%
Conformal 6	92%
Conformal 7	100%
Conformal 8	96%
Conformal 9	101%
Conformal 10	106%
Promedio	98%

4.4.7 Recomendación a la gerencia sobre la falta de capacidad actual y proponer la adquisición de nuevo equipo

Se aconseja a la gerencia que es necesario adquirir 6 máquinas de conformal extras en vez de considerar solo 4 máquinas adicionales. El staff japones aprueba la adquisición de 6 máquinas adicionales, solicitando el apoyo a mantenimiento, ingeniería y control de producción para realizar un seguimiento puntual sobre la demanda, y evitar parar líneas de producción mientras se programan el arribo de las nuevas máquinas de conformal

Para reducir los paros de línea se generan dos opciones por modelo para balancear producción y demanda, el objetivo de tener dos opciones es cuando la máquina tenga un modelo urgente tener la factibilidad de correr en dos máquinas al mismo tiempo o correr otro modelo en otra máquina. Tabla 24.

Tabla 24. Se generan dos opciones por maquina por modelo. Fuente: Elaboración propia

P. Line	New Model Name
CONFORMAL 1	305B DRL LH
CONFORMAL 1	305B DRL RH
CONFORMAL 1	P42J LDM ECE
CONFORMAL 1	P42J LDM SAE
CONFORMAL 1	T7AW LDM BR
CONFORMAL 1	T7AW LDM ME
CONFORMAL 2	305B DRL LH
CONFORMAL 2	305B DRL RH
CONFORMAL 2	L42P LDM
CONFORMAL 2	989A

4.4.8 Realizar un estimado de fechas de arribo e instalación de las máquinas de conformal

Se proporciona por parte de ingeniería y compras un programa de actividades para la adquisición del nuevo equipo e instalación. Tabla 25.

Tabla 25 Estimado de fechas. Fuente: Elaboración propia

Fecha	Descripción	Área responsable
01/09/2018	Generación de orden de compra por 3 máquinas de conformal	Compras
01/11/2018	Generación de orden de compra por 3 máquinas de conformal	Compras
01/12/2018	Arribo de las primeras dos máquinas de conformal	Importación / exportación
15/12/2018	Instalación y seteo de máquinas de conformal	Mantenimiento
01/01/2019	Arribo de la tercera máquina de conformal	Importación / exportación
15/01/2019	Instalación y seteo de máquina de conformal	Mantenimiento
01/02/2019	Arribo de la cuarta y quinta máquina de conformal	Importación / exportación
15/02/2019	Instalación y seteo de máquinas de conformal	Mantenimiento
01/03/2019	Arribo de la sexta máquina de conformal	Importación / exportación
15/03/2019	Instalación y seteo de máquinas de conformal	Mantenimiento

En cuanto se realiza la instalación de las maquinas se solicita tiempo extra para el área de producción conformal, para evitar paros de línea de producción ensamble.

4.5 Paso 5: Controlar

4.5.1 Realizar un estudio mensual sobre la variación de la demanda para tener un estudio real de capacidad

Se revisa mensualmente un análisis de pronóstico de error (forecast error) es la diferencia entre la demanda real y la demanda pronosticada mientras que la precisión del pronóstico (forecast accuracy) evalúa que tan cercano esta de la realidad. En la compañía se evalúa en KPI con un asertividad del 90% para forecast accuracy y porcentaje de forecast error del 10% este porcentaje tiene una variación hacia arriba (+) o hacia abajo (-).

Se tomaron los datos de los primeros 5 meses que se tiene para comparar este KPI, se puede observar que la variación que se tiene es de 2.41% en forecast error y una precisión del 97.59%. Lo cual representa un estado saludable mediante la precisión del plan de ventas.

Tabla 26.

Tabla 26 Variación de la demanda. Fuente: Elaboración propia

	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19
Ventas plan	679,905	660,923	663,168	554,860	749,405
Ventas reales	629,480	662,293	665,892	570,235	758,875

Forecast accuracy	92.58%	99.79%	99.59%	97.23%	98.74%
Forecast Error	7.42%	0.21%	0.41%	2.77%	1.26%

4.5.2 Reuniones mensuales para mejora del proceso de conformal.

[illegible]

Figura 30 Formato con la primera reunión realizada entre mtto, calidad, producción y planeación. Fuente: Elaboración propia

4.5.3 Tener reuniones con el equipo de ventas sobre cambios o nuevos proyectos para la planta

[illegible]

Figura 31 Formato con la primera reunión realizada entre ventas y planeación. Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

El presente proyecto se enfocó en la optimización de la capacidad de producción en el área de revestimiento especial (conformal coating) de una empresa automotriz, aplicando la metodología DMAIC sustentada en los principios de Six Sigma y Lean Manufacturing. A través de un análisis sistemático de las fases de Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar, se identificaron las principales causas de ineficiencia como paros no programados, tiempos de ciclo elevados y falta de balanceo en las líneas de producción. Los resultados obtenidos muestran logros significativos: incremento del OEE hasta niveles cercanos al 85%, reducción del scrap en más del 10%, disminución del tiempo de cambio de modelo mediante la técnica SMED, implementación de un balanceo de línea más eficiente y la justificación técnica y económica para la adquisición de nuevo equipo.

En conclusión, la integración de herramientas de mejora continua permitió transformar el área de conformal coating en un proceso más estable, controlado y competitivo, consolidando una cultura de calidad y eficiencia alineada con los estándares de la industria automotriz y sentando las bases para futuras mejoras y expansión de la capacidad productiva de la empresa.

Recomendaciones

El área de planeación es un área muy importante para analizar la demanda del cliente, y la capacidad de producción son los responsables de aceptar o rechazar los pedidos del cliente.

Al presente trabajo como a trabajadores de otras áreas, recomiendo:

- Realizar un estudio de capacidad de la compañía donde estes laborando, tomando en cuenta la capacidad maquina y capacidad calculada.
- Solicitar al departamento de ingeniería los tiempos ciclos y producción histórica.
- Solicitar el forecast al cliente, puedes tener 3 tipos de forecast (anual, 3 meses y 2 semanas.
- Definir KPI's para el área de producción como control de producción:
 - Asertividad de la demanda del 90%
 - OEE del 85%
 - Satisfacción del cliente o OTIF (100%)
 - Cumplimiento al plan de producción del 90%
 - Entre otros.
- En el presente proyecto se utilizó la metodología DMAIC, donde se recomienda repetir los pasos hasta obtener el resultado que la compañía espera. Puedes separarlo por fases, donde mostraran resultados.
- Seguir actualizando la información una vez al año en el mes de octubre-noviembre; es donde las armadoras comparten el forecast. En caso de una variación grande avisar al cliente con anticipación.

En mi experiencia en las compañías son de diferente giro; la metodología y conocimiento es el mismo solo es adaptarlo a donde se esté laborando. Existe una frase:

Encontrar placer en el trabajo hace que sumemos perfección al mismo (Aristóteles).

Referencias

6Sigma. (2024, abril). *El modelo Toyota 3M: Desbloqueando el dominio de la manufactura esbelta*.

Bosch Group. (2013, mayo). *Problem solving: Quality management in the Bosch Group*. Robert Bosch Booklet, 1, 60.

Camisón, C., Cruz, S., & González, T. (2016). *Gestión de calidad: Conceptos, enfoques, modelos y sistemas*. Pearson Educación.

CompuTrabajo. (2014). *Acerca de S de RL de CV*.
<https://mx.computrabajo.com/empresas/acerca-de-siix-ems-mexico-s-de-rl-de-cv-D3A4DC598FDE0863>

El CEO. (2023, 6 de junio). *Producción de vehículos en México repunta 25% a 344,201 unidades en mayo*. <https://elceo.com/negocios/produccion-de-vehiculos-en-mexico-repunta-25-a-344201-unidades-en-mayo>

Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*, 6ta edición. México: Mc Graw Hill.

Izaguirre, W. (2020). *El sistema Lean Six Sigma para incrementar la competitividad empresarial*. APTT Perú.

Kaizen Institute. (2025). *Lean Six Sigma: Una guía para la mejora continua*.
<https://kaizen.com/es/insights-es/lean-six-sigma-mejora-continua/>

Kaizen Institute. (2025). *Mantenimiento Productivo Total (TPM): Principios, pilares e implementación*. <https://kaizen.com/es/insights-es/tpm-fundamentos-pilares-implementacion/>

Kaizen Institute. (2025.). Overall Equipment Effectiveness (OEE): Cómo medir y mejorar la eficiencia en los equipos. <https://kaizen.com/es/insights-es/oeo-mejorar-eficiencia-equipos/>

Kaizen Institute. (2025). SMED explicado: Reducir el tiempo de setup y aumentar la eficiencia. <https://kaizen.com/es/insights-es/smed-reducir-setup-aumentar-eficiencia/>

Liker, J. K. (2004). El modelo Toyota: 14 principios para la gestión del siglo XXI. McGraw-Hill.

Ortiz, C. A. (2018). OEE para todos: Cómo mejorar la efectividad global de los equipos. Profit Editorial.

Ramírez Morales, L. F. (2021, agosto). Componentes de montaje superficial.

Ribbens, W. B. (2003). Electrónica automotriz: Entendiendo la electrónica automotriz. Limusa Wiley.

Ruiz Durán, C. (2016, septiembre). Desarrollo y estructura de la industria automotriz en México. Fundación Friedrich Ebert.

Christopher, M (2016). Logistics & Supply Chain Management (5th ed.). Pearson Education.

Gaither, N., & Frazier, G (2000). Administración de producción y operaciones (8va ed.). International Thompson Editores.

Heizer, J., & Render, B (2014). Principios de administración de operaciones (9na ed.). Pearson educación.

Krajewski, L. J., Ritzman, L.P., Malhotra, M. K. (2013). Administración de operaciones: Procesos y cadena de suministros. (10ma ed.). Pearson Educación.

Salazar López, B. (2019, noviembre). *Mantenimiento Productivo Total (TPM)*. Ingeniería Industrial Online. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/mantenimiento-productivo-total-tpm/>

Secretaría de Economía. (2012, marzo). *Industria automotriz: Monografía*. Dirección General de Industrias Pesadas y de Alta Tecnología.

Techspray. (2025). *La guía esencial de los revestimientos de conformación*. <https://mx.techspray.com/la-guía-esencial-de-los-revestimientos-de-conformación>

Automotive Electronics Council (AEC). (2023). *AEC-Q100: Failure mechanism based stress test qualification for integrated circuits (Rev. H)*.