

# UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Estudios con Reconocimiento de Validez Oficial por Decreto Presidencial  
Del 3 de abril de 1981



LA VERDAD  
NOS HARÁ LIBRES

UNIVERSIDAD  
IBEROAMERICANA

CIUDAD DE MÉXICO ®

“MODELOS AGREGADOS EN PROCESOS DE MANUFACTURA  
DENTRO DEL SECTOR AUTOMOTRIZ”.

## TESIS

Que para obtener el grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

Presenta

**ALEJANDRO MATEOS CAMACHO**

Directora

Dra. Mariana Ruíz Morales

Asesores

Dr. Erick Guillermo Torres Bermúdez

Lectores

Dr. Hugo Alexer Pérez Vicente

Dr. Isidro Soria Argüello

# ÍNDICE

<b>Capítulo I Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Definición de la problemática .....	1
1.2 Justificación del tema de tesis .....	1
1.3 Hipótesis y objetivos .....	3
1.4 Alcance y limitaciones.....	4
<b>Capítulo II Antecedentes .....</b>	<b>5</b>
2.1 Industria automotriz en México .....	5
2.2 Contexto histórico con proveedores .....	8
2.3 Modelos de negocios para empresas proveedoras para fabricantes de equipo original .....	9
<b>Capítulo III Marco teórico .....</b>	<b>12</b>
3.1 Comunicación con proveedores .....	12
3.1.1 Introducción a la segmentación de partes .....	12
3.1.2 La capacidad y la planeación de la capacidad .....	13
3.1.3 Análisis de la capacidad.....	14
3.2 Uso del tiempo estándar como medida de desempeño .....	15
3.2.1 Eficiencia operacional.....	24
3.2.2 Análisis de cambios en el proceso .....	24
3.3 Casos de aplicación de modelos de capacidades .....	26
3.3.1 Concepto e importancia de un modelo .....	26
3.3.2 Modelados en sistemas de manufactura .....	28
3.3.3 Análisis orientado a la capacidad y diseño de sistemas de producción .....	28
3.4 Diseño óptimo de sistemas de manufactura flexible .....	29
3.4.1 Diseño de sistemas avanzados de manufactura.....	30
3.4.2 Cálculos de capacidad .....	31
3.5 Modelado en sistemas dinámicos.....	34
3.6 Definición de un modelo agregado .....	36
<b>Capítulo IV Propuesta de Modelo Agregado de Manufactura .....</b>	<b>37</b>
4.1 Importancia y justificación de la propuesta de un modelo agregado.....	37
4.2 Desarrollo del modelo agregado.....	37
4.2.1 Fase 1: Análisis de la operación .....	39
4.2.2 Fase 2: Metodología estudio de tiempos aplicada.....	39
4.2.3 Fase 3: Modelación y Simulación .....	39
4.2.4 Fase 4: Análisis de capacidad efectiva.....	40
4.2.5 Fase 5: Modelación de datos estándar .....	41
4.2.6 Fase 6: Modelos agregados en manufactura .....	42
<b>Capítulo V Implementación de la propuesta .....</b>	<b>43</b>
5.1 Participantes involucrados .....	43
5.2 Áreas beneficiarias .....	44
5.3 Principales restricciones .....	44
5.4 Recolección de la información .....	45

<b>Capítulo VI Resultados y análisis de la información de campo .....</b>	<b>46</b>
6.1 Naturaleza de los procesos productivos .....	46
6.2 Tipos de set ups en los procesos productivos .....	47
6.3 Metodologías de toma de tiempos y movimientos.....	48
6.4 Asignación de tiempos estándar a operaciones .....	49
6.5 Documentación de la operación .....	50
6.6 Implementación del modelo agregado a procesos principales.....	54
6.7 Modelación de resultados/ Datos estándar .....	61
6.8 Pruebas a comportamiento en ambiente dinámico .....	82
6.9 Aplicación en sistemas productivos .....	86
<b>Capítulo VII Discusión de resultados .....</b>	<b>90</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>102</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>108</b>

## Agradecimientos

En cuanto a la universidad Iberoamericana, agradecer profundamente a esta gran institución por brindarme la oportunidad de complementar y generar nuevos conocimientos en mi desarrollo profesional y así como promover que estos fueran conocidos fuera de México, agradecer los apoyos brindados, los recursos y las experiencias adquiridas durante esta etapa, compañeros, así como a todos los académicos de quienes aprendí en diversos ámbitos.

Agradecer a mi padres y hermanos por apoyarme durante otro ciclo, esperando sean muchos más. A la empresa, agradecer el tiempo, la flexibilidad y la disponibilidad de cada una de las personas que colaboraron en cierto grado para el desarrollo y termino de esta investigación y con ello ser de utilidad a la misma.

Deseo expresar mi agradecimiento a la Dra. Mariana Ruíz Morales quien desde un inicio antes de ingresar al posgrado dedicó tiempo al desarrollo de la presente investigación hasta la conclusión de esta, así mismo brindó directriz para el desarrollo de esta investigación. Agradezco, las sugerencias, observaciones, revisiones durante el desarrollo y flexibilidad brindada, siendo el soporte principal para poder contar con un gran equipo de asesores en el desarrollo de la investigación y para el comité de titulación.

Al Dr. Erick Torres Bermúdez le agradezco de igual manera el tiempo dedicado a las diversas revisiones, así como también a sus acertadas observaciones y comentarios, quien ayudó a sintetizar mucha información, así como a promover una mejor estructura para su correcta interpretación. A la Ing. María Teresa Torres Guerra agradecerle el tiempo dedicado, observaciones y sugerencias realizadas desde los primeros capítulos de la investigación, todos fueron muy útiles para mejorar la estructura y hacer más entendible la investigación. Todas estas revisiones fueron reflejadas siendo participes en el congreso internacional InGENIO 2021.

Finalmente, agradecer el tiempo dedicado y los comentarios realizados por parte del Dr. Hugo Alexer Pérez Vicente, Dr, Isidro Soria Arguello y el Maestro Yonder León Mejía ya que los comentarios de cada uno de ellos fueron muy acertados y complementaron aún más la presente investigación.

Alejandro

## Resumen

La presente investigación busca aportar un modelo agregado de manufactura que consta de 6 fases, considera como base algunas de las herramientas existentes dentro del área de ingeniería Industrial y tres más son desarrolladas con el objetivo de apoyar a la solución de las necesidades actuales que presentan las empresas del sector de la proveeduría en el ámbito automotriz, conocidas como *Ties* (Subproveedores de empresas armadoras u *OEMs*), sin embargo, esta herramienta no se limita únicamente a este sector.

El capítulo uno contiene la descripción de la problemática que aborda la investigación, así como elementos que fueron considerados para poder realizarla. Dentro de este capítulo se plantea el objetivo general del modelo agregado de manufactura el cual consiste en que las organizaciones tengan una herramienta completa que ayude a mejorar el conocimiento del propio sistema de producción y pueda responder a ambientes dinámicos de su propio sistema, mejorar la toma de decisiones internas y responder de una manera eficaz a necesidades de *OEMs*.

Para conocer el entorno en el cual se desarrolla la investigación y el contexto histórico de como el sector automotriz ha evolucionado en nuestro país, el capítulo dos detalla esta información, así como la proyección que se espera para los próximos años y que sectores se ven beneficiados con este crecimiento, además contiene algunos de los retos que la industria automotriz, visto desde el sector de la proveeduría presenta hoy en día.

Actualmente existen diversas técnicas, herramientas o metodologías que se han desarrollado para resolver diversas problemáticas dentro del sector automotriz, por ello en el capítulo tres se enfoca a revisar aquellas de las metodologías que existen para sistemas de producción avanzados, así mismo dentro de este capítulo se profundizan las bases que se consideraron para poder proponer el nuevo modelo agregado de manufactura en el sector automotriz.

El capítulo cuatro contiene el desarrollo del modelo agregado de manufactura, en este capítulo se describe la importancia del modelo y la funcionalidad de este, de igual manera se detalla en que consiste cada una de las seis fases de las cuales consta el modelo que fue desarrollado e implementado, las fases son: análisis de la operación, metodología de estudio de tiempos aplicada, modelación y simulación, análisis de capacidad efectiva, modelación de datos estándar, y modelos agregados de manufactura. En el capítulo cinco se describe la implementación del modelo dentro en la organización, describe las áreas involucradas, las principales áreas involucradas, principales restricciones encontradas y el proceso de la recolección de la información que se realizó.

En el capítulo seis se puede visualizar el impacto que tuvo el desarrollo y la implementación del modelo agregado en los procesos de la organización, además cada uno de los procesos de la organización fue clasificado con base a sus características y así poder analizarlos de una manera correcta. Este capítulo describe las herramientas, metodologías que fueron utilizadas con el objetivo apoyar a resolver problemáticas actuales dentro de la organización.

Finalmente, en el capítulo siete se mencionan los resultados obtenidos en diversas áreas de la organización, también se abordan algunos escenarios que se utilizaban en la organización antes tener los modelos obtenidos con el desarrollo e implementación del modelo agregado de manufactura con el fin de comparar la utilidad del modelo agregado de manufactura, de igual manera se muestran algunos de los resultados obtenidos por la implementación de modelos agregados en diversas áreas.

# Capítulo I Introducción

## 1.1 Definición de la problemática

Empresas dedicadas a la manufactura en diversos sectores frecuentemente buscan la manera de incrementar la competitividad bajo diversos enfoques; en algunos casos con enfoque de mejora del funcionamiento interno dentro de la organización o por otra parte se puede llegar a ser más competitivo a través del cumplimiento de las necesidades y requerimientos de los clientes.

Para el lanzamiento de un nuevo programa o proyecto en el sector automotriz, las empresas *OEMs* (*Original Equipment Manufacturer*), brindan los detalles del programa en particular al conjunto de proveedores que deseen participar en la fabricación de estos nuevos componentes, de tal manera que se pueden conocer los procesos requeridos para su fabricación al igual que la capacidad necesaria, sin embargo, la falta de herramientas o metodologías que permitan conocer el propio sistema de producción, es decir, todos los elementos que conforman un sistema de producción y la forma de responder y adaptarse a nuevos cambios propicia que las empresas proveedoras dentro del sector automotriz destinen recursos no planeados para poder responder a las necesidades y adaptarse. Esta falta de conocimiento a detalle del sistema de producción las empresas proveedoras y la falta de proyección de funcionamiento para nuevos negocios, genera que en ocasiones limite el incrementar los nuevos negocios para la organización.

## 1.2 Justificación del tema de tesis

Hoy en día, empresas dentro de la proveeduría en el ámbito automotriz, conocidas comúnmente como *Tiers* (Subproveedores de *OEMs*), son las principales organizaciones interesadas en cumplir con los requerimientos de las empresas *OEMs*, algunos de los principales son los requerimientos específicos del producto, métodos del aseguramiento de la calidad, entre otros. Sin embargo, existen requerimientos adicionales que una empresa *OEM* demanda del sector de la proveeduría, como por ejemplo, el análisis de capacidad de la organización, el cuál es modificado con base en el comportamiento volátil del mercado; un incremento en la demanda de la fabricación de vehículos genera que las empresas proveedoras deban adaptarse a tal comportamiento y al mismo tiempo, conocer la reacción de su propio sistema de producción en ámbitos de proyección ante la necesidad de adaptación o bien definir los cambios necesarios sobre la capacidad instalada.

Comúnmente, bajo estas condiciones en particular se propicia una falta de conocimiento profundo sobre el sistema de producción, originando que las empresas proveedoras deban de invertir en diversos recursos para poder reaccionar ante tal cambio, ya que impactan de manera negativa a la

organización puesto que dichas necesidades al inicio, cuando se adquirió el nuevo negocio estos recursos no fueron considerados.

Siendo el sector automotriz un segmento muy volátil respecto a la adaptabilidad al comportamiento del mercado, es importante considerar la forma como las empresas reaccionan internamente para poder ganar nuevos proyectos; nuevos modelos de un automóvil.

Por lo anterior, es de vital importancia que las empresas tengan un profundo conocimiento de su propio sistema producción. Bajo este enfoque basado en la prevención y entendimiento del mismo sistema de producción orientado a la productividad con enfoque al servicio al cliente, organizaciones de hoy en día requieren tener herramientas que permitan conocer, planear y proyectar las nuevas necesidades de los diferentes clientes (*OEMs*) que impactan su sistema de producción.

De otra manera, aquellas organizaciones que no cuenten con el conocimiento requerido sobre su sistema de producción tienden a realizar omisiones importantes en su proceso, como los siguientes: Poco entendimiento de las capacidades vendidas al inicio del programa o negocio (actual VS necesario) mismo que se refleja en problemas de capacidad no planeada lo que implicaría solicitar capital para adquirir nuevos equipos, motivo por el cual se tendría un impacto significativo en el *Layout* de la organización. El término de *Layout* consiste en determinar la localización del conjunto de elementos que conforman un sistema de producción estos incluyen equipos, materiales, personal con el objetivo de funcionar en conjunto de manera eficiente, con flexibilidad y que reduzca cualquier costo que no agregue valor a la operación (Hartl and Preusser,2009).

Es importante mencionar que además de lo anterior pueden surgir diversas necesidades por cubrir antes de tener esto implementado como muestran a continuación:

- Implementar un modelo agregado de manufactura que mejore el entendimiento del sistema de producción de la organización.
- Definición de personal necesario para un proceso de manufactura, es decir, al inicio de un programa se proyecta el personal necesario, en caso de surgir cualquier cambio, es vital poder tener la herramienta que permita conocer el impacto en cuanto a personal requerido.
- Para el lanzamiento de un programa (nuevo vehículo) es primordial que cada organización proveedora pueda tener un modelo de estimación confiable que permita tener la certeza de que aunque no se cuente con el proceso de manufactura exactamente igual al nuevo programa, dicho modelo de estimación pueda proveer información confiable enfocada a tiempos de fabricación, recursos necesarios y una vez obtenido lo anterior, las empresas proveedoras podrán proporcionar información útil, que permitirá participar con otras empresas para poder ser elegido y así poder fabricar productos para el nuevo vehículo.

- Así mismo, para aquellos procesos existentes que sean comunes y que vayan a ser necesarios para nuevos programas, es importante disponer de información precisa que permita tomar decisiones importantes para el correcto funcionamiento de los futuros negocios.

### **1.3 Hipótesis y objetivos**

Un modelo agregado de manufactura será una nueva herramienta que permitirá que los proveedores de autopartes tengan la oportunidad de entender su sistema de producción visto desde la necesidad de responder a necesidades de un mercado volátil, practicidad de entendimiento y versatilidad de aplicación en sus operaciones, dicho modelo parte de una secuencia lógica misma que permitirá responder a las necesidades demandadas de un cliente (*OEMs*), tales como incremento de demanda, proyección de capacidad y aquellos factores que son afectados al satisfacer dicha necesidad. Además, el modelo agregado servirá para tomar mejores decisiones ya que al promover la modelación de información del propio sistema de producción, se podrá generar más competitividad frente a otras empresas similares del sector, lo anterior a través de la mejora en el tiempo de respuesta al encontrarse y cotizar para nuevos negocios.

#### **Objetivo general**

Desarrollar e implementar un modelo agregado de manufactura que genere a las organizaciones dentro del sector automotriz y el sector manufacturero la mejora en el conocimiento del sistema de producción, así como también una mejora en la administración de la capacidad efectiva con enfoque al servicio al cliente, a través de la generación de información confiable para la toma de decisiones.

#### **Objetivos específicos**

- \* Definir métodos internos de asignación de tiempos estándar en los procesos principales de la empresa.
- \* Analizar y actualizar la capacidad efectiva de equipos existente en la organización
- \* Complementar el proceso de cotización y asignación de la capacidad de la planta para el lanzamiento de nuevos proyectos, mediante los métodos internos desarrollados para la asignación de tiempos estándar.
- \* Generar un método que permita asignar o justificar el número de personal asignado en las áreas productivas.
- \* Actualizar los tiempos estándar de los números de parte que se tienen en la empresa a través de métodos internos de asignación desarrollados.
- \* Establecer estándares de producción en los diferentes procesos en la empresa.
- \* Representar la eficiencia real de los procesos a través de sistema internos.

## 1.4 Alcance y limitaciones

- Se evaluará la implementación de cada una de las fases que integran el modelo agregado de manufactura para los 10 procesos principales de la organización considerando los 2 segmentos existentes.
- Para el desarrollo de cada una de las fases del modelo agregado, será analizada y modelada información proporcionada por una empresa proveedora de autopartes nivel Tier 1.

### Limitaciones

- La información recabada para el modelo propuesto será de procesos comunes y/o genéricos para los próximos negocios de la organización.
- Cuando se requiera información necesaria para poder participar con otros nuevos procesos, la información actualizada y recabada será de procesos actuales.

## Capítulo II Antecedentes

### 2.1 Industria automotriz en México

Hoy en día, y como en años anteriores la industria automotriz continúa aportando a la economía mexicana, y seguramente será un factor para el crecimiento en términos de generación de empleos y exportaciones para el año 2021 (México Automotriz, 2021). Un leve crecimiento de 0.3 por ciento en el Producto interno bruto (*PIB*) para el año 2021 está proyectado, debido al incremento de exportaciones de empresas manufactureras a los Estados Unidos, impulsando a la economía dentro del marco del Acuerdo Comercial del T-MEC (Tratado de México-Estados Unidos-Canadá).

México es el principal proveedor de autopartes de Estados Unidos en la actualidad, es decir de la producción total, el 82% se exporta a Estados Unidos, mientras que la industria terminal envía anualmente 2 millones de unidades, lo que representa el 16% de su comercialización (México Automotriz, 2021).

Adicionalmente las expectativas de las empresas de autopartes proyectan un incremento de 24% en el valor de la producción, lo cual representa a 97,000 millones de dólares, un número cercano al logrado en el año 2019 (México Automotriz, 2021). Como se muestra en la siguiente tabla 1, la industria terminal y proveedoras de autopartes confían que diversos países recuperen las ventas que tenían proyectadas en los próximos años lo cual incrementaría la demanda para las empresas mexicanas.

	<b>Producción</b>	<b>Exportación</b>	<b>Variación respecto a 2020</b>
<b>Vehículos (industria terminal)</b>	3.4 millones de unidades	3 millones de unidades	12%
<b>Autopartes</b>	96,971 millones de dólares	80,485 millones de dólares	24%

Tabla 1. Índice de producción y exportaciones para vehículos y autopartes. Fuente AMIA, INA (2021)

En 10 años la industria automotriz también incrementó su contribución al PIB, a 3.8 % comparándolo con 2.8 % que se veía reflejado en años anteriores, las exportaciones a EUA se duplicaron en 2019 y México superó a Canadá como segundo proveedor de autos, solo por detrás de Japón (Almaraz, 2021).

Además, la industria automotriz y de autopartes mexicana recibió una inversión extranjera directa (IED) de aproximadamente 4.8 mil millones de dólares estadounidenses durante los tres primeros trimestres de 2019 (Statista, 2019).

México actualmente gracias a la calidad de sus productos y procesos, así como la competitividad que demuestra, ha atraído a cientos de compañías dentro del sector automotriz con el fin de satisfacer las necesidades originadas por recientes oportunidades de negocios de *OEMs*. Otras ventajas adicionales que resaltar tales como la ubicación geográfica estratégica para muchas de las *OEM*, el capital humano calificado, la operación competitiva y los costos, han permitido que México actualmente albergue a las principales *OEMs* del mundo. Otro aspecto importante que considerar es que México posee un atractivo mercado interno y externo con respecto a la venta de vehículos.

De acuerdo con integrantes de la Asociación Mexicana de Distribuidores de Automotores (AMDA, 2017), México alcanzó el objetivo para el año 2020 ya que la producción fue mayor a 5 millones de vehículos y 2 millones de ventas.

Hoy en día con la ratificación del *T-MEC* se tendrán nuevas oportunidades para la proveeduría nacional de insumos automotrices, que representará un incremento de 62.5% a 75%. Por otra parte, la industria automotriz capta más divisas que el ingreso de las remesas, y cinco veces más que los productos petroleros, además de cuatro veces más que el saldo del turismo. Lo anterior significa que es el motor de las exportaciones mexicanas, de acuerdo con la AMIA (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, 2019).

Debido a la gran cantidad de empresas estadounidenses que están en México, mismas empresas que se ya encuentran en el nuevo tratado, se pretende que incrementen sus ventas ya que se busca que sean elegidas primera opción en el ámbito de provisión de autopartes, por lo que fabricantes de países como China y Corea ya no serían considerados como primeras opciones como ocurría anteriormente (BBC, 2019).

En el año 2017 México se mantuvo como el séptimo más grande con respecto a la manufactura de vehículos, e inclusive en dicho año subió de categoría en términos de exportación de vehículos, ya que México ofrece una gran oportunidad hacia Norte América, siendo actualmente la entrada principal para el mercado de Latinoamérica (Asociación Mexicana de la Industria Automotriz, 2019).

Es por ello, que la industria automotriz representa el 3% del *PIB*, mientras que la industria de autopartes representa el 1% del *PIB* (La industria automotriz mexicana: situación actual, retos y oportunidades, 2016).

Actualmente con la llegada de empresas de prestigio internacional, caracterizadas por la filosofía de calidad expresada en la clase de vehículos que nos ofrecen, tales como Audi y Kia, la producción y exportación exhibe un crecimiento de 10.8% a 13.1% respectivamente (Mexico Automotive Review, 2017).

La industria automotriz en México dentro sector de ensamble de vehículos consta de 23 plantas ensambladoras dedicadas a la producción de vehículos ligeros distribuidas en los siguientes estados: Baja California, Sonora, Jalisco, Guanajuato, Estado de México, Aguascalientes, Coahuila, Hidalgo, Morelos, Chihuahua, San Luis Potosí, Nuevo León, Veracruz y Puebla; además de 15 plantas ensambladoras dedicadas a la producción de vehículos pesados, distribuidas en diferentes estados tales como San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco, Querétaro, Hidalgo, Morelos, Estado de México, Aguascalientes, Nuevo León Baja California norte, Sonora, Chihuahua y Puebla (Tetekawi, 2019).

En el año 2013, hubo 61 nuevos lanzamientos en EUA, 50% más que en otro año desde el año 2006, y todos estos vehículos tienen mayor tecnología y complejidad que los vehículos que van a reemplazar, otra base que las empresas proveedoras consideran como expansión (Dharmani y Anand, 2015).

En la actualidad, las *OEM's* deben obtener un mejor entendimiento del comportamiento de la demanda, manejar los cambios de capacidad para poder mejorar la comunicación con sus proveedores, ya que, en un mercado tan complejo y volátil, realizar estos cambios siendo necesarios o solicitados se convierte en un proceso difícil de manejar.

Una mejora en la previsión es la base para una buena planificación y gestión de la capacidad. Los pronósticos imprecisos no solo generan riesgos por cambios de capacidad tardíos, es decir las *OEM's* cambian órdenes de fabricación de componentes en un periodo de aviso corto, lo que trae como consecuencia generar malas relaciones con los proveedores a causa del poco tiempo brindado de reacción.

Una vez que una *OEM* está asociada con volatilidad fuera de un margen aceptado; las empresas proveedores empiezan a planear con inexactitud, factor que contribuye a que se invierta poco en capacidad, misma que al ser implementada, y siendo esta no adecuada representa para las empresas proveedoras pérdidas significativas.

Las empresas proveedoras deben considerar las diferentes fuentes existentes cuando realizan la planeación de la capacidad, entre las que destacan: predicciones estadísticas sobre las ventas, mercadotecnia y cadena de suministro, con el objetivo de tener un mejor entendimiento del comportamiento de la demanda y así para poder obtener la capacidad real y efectiva.

La historia de la industria del automóvil, como se ha comentado con anterioridad, es una historia de cambios e innovaciones que se expresan en diferentes formas de integración industrial entre sus partes que lo componen. Para tal entendimiento es claro que es una historia de competencia y cooperación entre todas las partes que componen a un automóvil, por ello el desarrollo de sistemas productivos y cambios en la demanda bajo ciertas peculiaridades siempre se han encontrado en empresas que están dedicadas a este sector automotriz (Núñez, 2005).

La diversidad de la demanda partiendo de los diferentes mercados nacionales y la entrada a la globalización permitió que diferentes estrategias productivas surgieran a inicios del siglo XXI.

El desarrollo de la industria automotriz a nivel mundial ha generado un proceso de reestructuración en los últimos años de una manera drástica en ámbitos de reestructuración de sistemas productivos y organizacionales, no solo en la región de Norteamérica, sino también en regiones de Europa e incluso Asia. Principalmente enfocados a conocer la participación en mercados compartidos, segmentación de mercados, y adaptación a sobrecapacidad productiva (Ruiz, 2016).

Lara y Carrillo (2003) mencionan, un tema importante con respecto a los cambios que se han detectado en la industria automotriz particularmente con las empresas armadoras, tanto la industria terminal como la de autopartes deben de centrarse en generar nuevas técnicas de trabajo que sean flexibles, además de que las nuevas estrategias organizacionales deben de estar orientadas a la racionalización, es decir enfocadas a disminuir desperdicios.

## **2.2 Contexto histórico con proveedores**

Con motivo del decreto establecido en el año de 1962, denominado *Fortalecimiento de la Industria automotriz Nacional* aparecieron dos tipos de empresas de autopartes en México, las primeras eran aquellas que producían componentes claves, las cuales recibían aportación de capital extranjero y las otras que estaban enfocadas en la fabricación de piezas sencillas y baratas, las cuales se manufacturaban con capital mexicano con las licencias tecnológicas de las empresas extranjeras.

En dicho decreto se estableció que al menos 20 por ciento de los componentes deberían de ser de origen nacional, se limitaron importaciones de vehículos, se limitó la importación de ensamblajes principales complejos como motores y transmisiones, se limitó a un 40 por ciento de capital extranjero las inversiones para los vehículos fabricados en territorio nacional (Ruiz Duran, 2016).

Después de la crisis económica externa el sector automotriz de México se aceleró la conversión como país exportador, en donde México aumentó la competitividad en los costos como plataforma de exportación a causa de la caída de la moneda.

Carrillo (2014) menciona que una de las características que dio entrada a las empresas extranjeras fue la sofisticación de los negocios establecidos en el periodo de 1965 a 2001. La primera sofisticación fue de 1965-1981, la cual fue representativa por la realización de procesos manuales por la fuerza laboral no calificada, mientras que en la segunda de 1982-1994 se caracterizó por la maquila de autopartes, que introdujeron la industrialización a través de maquinaria automatizada, con la fuerza laboral calificada y con la introducción del sistema de producción japonés y finalmente la tercera etapa de 1995-2001, se caracterizó por que se empezaron a establecer centros de investigación y desarrollo mismas en donde finalmente se logró alcanzar actividades más intensivas para poder adquirir conocimiento.

Por lo que para el año 1989 una vez promulgado el decreto se aceleró la entrada de proveedoras extranjeras de autopartes, por lo que éstas mismas empezaron a predominar a mediados de los años 90, hablando únicamente de *Tier* (Empresas de primer nivel).

Considerando lo anterior a partir de los años 80 se inició la reestructuración de la red de proveeduría para la exportación de vehículos, originando que las proveedoras extranjeras de autopartes fueran principales promotoras dentro del mercado mexicano.

### **2.3 Modelos de negocios para empresas proveedoras para fabricantes de equipo original**

De acuerdo con Deif A. y ElMaraghy (2009), una de las principales complejidades que se tiene al momento de estudiar y manejar los cambios en los sistemas de manufactura con respecto a la capacidad es la dinámica en la que se desarrolla el sistema. Es común encontrar que la dinámica está asociada a la demanda de un requerimiento, pero en particular para este caso se refiere a la complejidad de productos y diversidad que caracteriza al sistema.

El problema de la dinámica en términos de capacidad ha sido un tema de interés desde hace aproximadamente 40 años, debido a que la capacidad instalada siempre debe de estar preparada para así responder a los cambios requeridos por una demanda volátil, es tema importante dentro del sector de manufactura, ya que las organizaciones toman decisiones para incrementar rentabilidad, es decir, decisiones con respecto a los elementos necesarios (equipos, instalaciones, sistemas y personas) así como también saber cuál es el mejor tiempo de implementación sin tener afectaciones propias y hacia los clientes, implica que las organizaciones deben tener un sistema adecuado que permita reaccionar en cualquier momento.

Sin embargo, también existen diversos parámetros internos y externos que dificultan la definición y planificación de la capacidad, entre los que se destaca la naturaleza dinámica y estocástica de la

demanda, para ello la disponibilidad de la capacidad es vital a considerar ya que se refiere a los tiempos de reacción que se tendrán para poder cumplir con cambios repentinos, así mismo el tiempo necesario de reacción, es decir la capacidad de reacción del sistema instalado.

Por esta razón la compensación tradicional entre la capacidad de respuesta y la rentabilidad agrega una capa de complejidad al ámbito de la gestión de la capacidad y con el objetivo de optimizar ambos objetivos se han realizado diversos estudios con el fin de analizar a detalle la planificación óptima de la demanda (Luss ,1982 y Mieghem, 2003).

Es una realidad que los retos han evolucionado en temas de planeación de capacidad desde que surgió como segmento la manufactura dedicada o sistemas rígidos, hasta lo que hoy en día prevalece tal es el caso de la manufactura flexible o celular. En esta evolución ha estado implícita la adaptabilidad que las organizaciones deben de tener en términos de economía, ya que no solo la economía en gran escala afecta, sino que también la economía en escala de toma de decisiones, las cuales están enfocadas a la expansión o reducción de capacidad así también reducir los tiempos de reacción para escalar la capacidad de años, meses, semanas e incluso días. Por esta razón la infraestructura moderna, principalmente basada en la fabricación modular, sistemas abiertos, en la mayoría de los sistemas de fabricación fue un facilitador para tal evolución.

Weindahl (2007), menciona que, dentro de un mercado tan competitivo hoy en día, todas las organizaciones enfrentan el desafío de responder a las demandas cambiantes del mercado mientras mantienen un nivel de producción rentable. Este balance no hubiese sido tan fácil sin los nuevos paradigmas de manufactura moderna, considerar así mismo el aporte de los habilitadores tecnológicos para permitir cambiar su funcionalidad y capacidad. Este ambiente dinámico genera que la gestión en el cambio de la capacidad sea muy dinámica, por ello que la planificación de la capacidad es inherente a un problema dinámico.

Dado que la planificación de la demanda es de naturaleza dinámica con varias incertidumbres asociadas con la demanda, el tiempo de escalamiento de la capacidad y el tiempo de respuesta o fabricación, pueden asociarse con la complejidad operativa. En el mercado actual, la disposición de cambiar con frecuencia y eficacia el nivel de capacidad se está convirtiendo en una característica fundamental de cualquier sistema de producción exitoso. Sin embargo, la complejidad operativa de este proceso dinámico es un obstáculo en la implementación de dicha estrategia.

Muchos sistemas de producción de acuerdo con su naturaleza o bien a las necesidades de la propia organización en la mayoría de los casos no es posible que se genere un stock para poder responder en tiempo, puesto que genera un impacto en ámbitos de costo, que en diversas ocasiones las empresas no están dispuestas a cubrir con este costo, por ello estas organizaciones se enfocan más a bajo órdenes de trabajo, es decir, manufacturar las cantidades que son solicitadas.

El sistema de manufactura, ordenes de trabajo prevalece in diversas industrias, como la industria de la computación, comida, y sector automotriz. La producción de un orden de trabajo únicamente inicia después de recibir una orden de producción con este principio se puede combatir de igual manera cierta variabilidad en la demanda (Vogel y Stolletz, 2021).

La planeación táctica de la demanda de basa en pronósticos fiables de la demanda de familias de productos a lo largo de varios meses con el objetivo de coincidir la capacidad a mediano plazo con la demanda, se puede aumentar la capacidad regular a través de una fuerza laboral flexible, planificando horas extras o bien contrataciones temporales de empleados (Arslan, 2021).

## Capítulo III Marco teórico

### 3.1 Comunicación con proveedores

Compartir información precisa y así como proyectar la demanda en el momento correcto y de manera clara con las empresas proveedoras puede ayudar a crear una confianza con los mismos y al mismo tiempo poder fomentar una mejor relación comercial.

Algunas *OEMs* brindan a sus proveedores un acceso a un portal online en donde se puede visualizar pronósticos, requerimientos y calendarios de producción en tiempos apropiados. Así mismo, los portales permiten ser utilizados para tener una mejor visión de la utilización de la capacidad de las empresas que son proveedoras. Estas a su vez deben de actualizar la capacidad contratada, disponible y utilizada en el portal con el fin de garantizar una transparencia en sus operaciones.

#### 3.1.1 Introducción a la segmentación de partes

Incluso con la reducción de complejidad relacionada con la capacidad proyectada y necesaria, los vehículos son productos con miles de componentes lo cual hace muy difícil rastrear y administrar la capacidad para cada uno de los proveedores, así como para cada uno de los componentes (Dharmani y Anand, 2015). Por esta razón las empresas *OEMs* que no proyecten su capacidad de manera correcta en conjunto con las empresas proveedoras, pueden causar un impacto significativo como, por ejemplo, impacto en sobreproducción ya que se podrían adquirir equipos para mayor capacidad misma que no se utilizaría o bien falta de comunicación, que significaría no tener los recursos necesarios para responder a los posibles cambios de requerimiento de la *OEM*.

Por lo anterior, cuando una *OEM* solicita un incremento en el requerimiento que impacta en la capacidad instalada de las empresas proveedores, las empresas proveedoras deben de recurrir a trabajar horas extra, turnos extra, integrar labores de mantenimiento si se es requerido, incrementar los pedidos de componentes a proveedores de nivel 2 (*Tier 2*), efectos que se replican en la cadena de suministro, representando un incremento en los costos de los proveedores. Lo cual hoy en día no es una novedad para las empresas proveedoras de las *OEMs*. Recientemente las industrias automotrices han enfocado sus esfuerzos para incrementar la capacidad dentro de sus organizaciones al igual que enfocarse en la utilización.

La producción mexicana alcanzó 3.48 millones de vehículos ligeros en el año 2015. La empresa LMC Automotive, líder en servicios de inteligencia de mercado y pronóstico global independiente y exclusivamente enfocado al sector de la automoción, estimó que para el año 2018 las compañías

incrementarían la capacidad de producción de vehículos ligeros un 48% y la producción de vehículos en un 36%.

Hoy en día los proveedores automotrices han crecido conforme crece la producción de vehículos, motores y transmisiones. Las empresas proveedoras están comprometidas con las *OEM's*, como, por ejemplo, localizarse cerca de sus plantas con el objetivo de mejorar el tiempo de respuesta del proveedor a los problemas del área de producción, así como lograr un mejor control de los costos de logística. Siendo la capacidad un elemento muy importante ya que los proveedores desde un inicio deben de localizar una nueva capacidad, y consolidar las capacidades existentes.

### **3.1.2 La capacidad y la planeación de la capacidad**

La decisión más importante en cualquier organización está relacionada con los productos y servicios que ofrece o manufactura. De ello depende la capacidad, el proceso, la localización y las instalaciones proyectadas para poder lograrlo. Por tal motivo al decidir producir con ciertos requerimientos y una calidad demandada los elementos anteriores deben realizarse lo mejor posible.

Diversos casos han demostrado que en diferentes sectores la demanda impredecible es un tema importante, mismo que afecta en la manera en la que se suministran los productos o se brindan los servicios resultando en una operación poco eficiente la mayoría de las ocasiones (LMC Automotive, 2015).

La dificultad de conocer los requerimientos del cliente (Demanda), relacionado con la capacidad de suministro de los proveedores y los mercados a los cuales se puede proveer (Capacidad) resulta por lo general en un problema de entregas (pronóstico). Es decir, proveer la cantidad de correcta en términos de productos en el tiempo requerido requiere de una cuidadosa planeación e inversión en la toma de decisiones. Por dicha razón 3 son los aspectos que se deben de considerar para la producción de bienes y servicios:

Capacidad: ¿Cuánto se puede fabricar por unidad de tiempo?

Demanda: ¿Cuánto y cuando requiere el mercado?

Pronóstico: ¿Cómo se va a cumplir con la proyección requerida sin hacer desperdicio de recursos?

Por ello los aspectos mencionados impactan entre sí, por esta razón para tener un cumplimiento satisfactorio del mercado, una operación debe de ser evaluada con base en la capacidad que puede proporcionar y las opciones que se deben de considerar en cuanto se tenga un incremento o disminución de la demanda.

La provisión de la capacidad es una decisión que no debe de tomarse a la ligera; una vez implementada no es sencillo retroceder con esta decisión y la única opción que queda es manejarla de ahora en adelante.

La producción agregada de producción de sistemas de producción complejos puede ser modelada como una sola velocidad de producción de un solo proceso o línea, el objetivo consiste en recompensar los pedidos terminados y evitar los costos de capacidad adicional requerida para un sistema general con lo anterior se separa el cumplimiento de los procesos para determinar cual subproceso requiere mayor atención (Louit, 2020).

### **3.1.3 Análisis de la capacidad**

La capacidad industrial es una medida de salidas, lo cual se puede considerar como lo que puede ser producido en un periodo de tiempo proporcionando ciertos recursos. De este modo la capacidad mide que tanto potencial una empresa está utilizando en un momento dado dentro de un proceso/ciclo de producción (Escuela de negocios Bangladesh, 2000).

Otro enfoque con el que se puede interpretar la capacidad es para explicar algún factor importante con referencia a un sistema productivo, tal como la productividad, la ganancia generada, la evaluación para un crecimiento, la inversión futura, así como la generación de empleo.

James (1976), define que la utilización de la capacidad es la relación entre el producto real o rendimiento actual, y el producto potencial, es decir, cuál sería la máxima cantidad para obtener/rendimiento máximo que se puede obtener por unidad de tiempo.

Con relación al rendimiento de producción, la utilización está muy relacionada con las entradas para la maximización de las salidas. La capacidad subutilizada es una división entre las actividades que son utilizadas como entradas, y que no agregan valor a una operación, lo cual se convierte en ineficiencia dentro de un proceso, cuellos de botellas, problemas laborales, fallas en el suministro de energía, que contribuyen a la capacidad subutilizada (Hemanta, 2012).

La capacidad de utilización se refiere también a las condiciones de la demanda del producto, la capacidad del mantenimiento de la maquinaria, las habilidades del colaborador dentro de una organización y la eficiencia de la cadena de suministro de las industrias.

Tener muy poca capacidad resulta en una insatisfacción de los clientes, pérdida de oportunidades, sin embargo, por otra parte, la capacidad no utilizada resulta en un desperdicio que resulta en costos más altos para las organizaciones.

Algunos cambios en capacidad pueden suceder de manera casi inmediata, en otros casos podría tomar un tiempo más prolongado. Es decir, la capacidad de una operación es una mezcla complicada de recursos, los cuales son la entrada a los procesos que permiten ser expandidos y contraídos, si estos se modifican. Finalmente, de la flexibilidad de los recursos o entradas resultará que tan rápido podrán modificarse.

La capacidad puede ser incrementada utilizando diversos métodos los cuales incluyen ajustar los recursos y entradas en una organización como, por ejemplo:

- Considerando un nuevo número de materiales y enfoques.
- Incrementando el número de servicios proporcionados o equipos.
- Incrementando el número de horas operativas.
- Adquiriendo instalaciones adicionales.

Mientras que para disminuir la capacidad puede ser un poco más complicado y costoso, por tal motivo la decisión de alterar la capacidad debe de tomarse cuidadosamente de acuerdo con las predicciones futuras de la demanda.

La capacidad es definida con los tres siguientes enfoques de acuerdo con M. García (2018):

- Capacidad de diseño: este es un número teórico el cual no debe de ser aplicado en el requerimiento diario o en la operación, puesto que supone un funcionamiento continuo, considerando una velocidad máxima sin paros o interrupciones, sin cambios durante los turnos, mantenimientos o algún otro retraso. Es decir, producir en condiciones perfectas. Por esta razón algunos consideran erróneamente la capacidad de diseño como capacidad máxima.
- Capacidad efectiva: por lo contrario, considera que una operación se comportará bajo ciertas condiciones; incluyendo paros programados que surgen bajo condiciones normales de operación, lo cual se considera como capacidad disponible.
- Capacidad actual: finalmente se considera de igual manera como capacidad efectiva pero la diferencia es que está considera paros no planeados, y los rubros que se pueden encontrar como son el bajo rendimiento, el absentismo, rotación de personal, entrenamientos, entre otros.

### **3.2 Uso del tiempo estándar como medida de desempeño**

La administración dentro de una empresa tiene dos objetivos distintivos con relación al control de sus operaciones. El primero es la medida del desempeño, la cual esta comúnmente evaluada por el

tiempo estándar y la capacidad de utilización y el segundo en cuanto a control de costos (Kren, 2000).

El seguimiento a la asignación de los tiempos estándar y la relación con los costos produce un control de costos de los procesos, así como una correcta evaluación de los reportes de desempeño.

Brabazon (1999), ha definido el tiempo estándar como la duración del tiempo que transcurre desde el inicio de la operación hasta la conclusión de esta, implica además la consideración de todas las actividades que se realizan en la operación. Algunos de los principales elementos que estudian están relacionados con el proceso, la espera, el movimiento y la inspección.

Dentro de los procesos se pueden distinguir entre actividades que agregan valor a la operación, mismas que son parte de las características y/o requerimientos que el cliente solicita y por otro lado también se pueden encontrar actividades que no agregan valor, tales como procesos de retrabajo e inclusive actividades asociadas con los procesos que se emplean para agregar valor al producto. De acuerdo con Meyers (2002), el tiempo estándar puede ser definido como el tiempo requerido para producir un producto en una estación de trabajo bajo determinadas condiciones; una persona calificada, trabajando a un ritmo normal y realizando una operación en específico.

Muchas empresas utilizan el tiempo estándar como medida de desempeño, ya que permite gracias a la reducción de tiempos estándar obtener mejores resultados financieros.

### **Técnicas de estudio de tiempos**

El estudio de tiempos son varias técnicas aplicadas que miden y analizan una tarea específica basándose en un método establecido o procedimiento estandarizado, considerando aspectos como fatiga, condiciones de la operación, así como retrasos inevitables dentro de la misma.

La manera para establecer los tiempos sigue un proceso sistemático, cuya finalidad de igual manera implica establecer nuevos métodos de trabajo, así como realizar mejoras en las estaciones de trabajo.

Existen diferentes técnicas de estudio de tiempos que son aplicadas bajo ciertas situaciones, sin embargo, la técnica de estudio con cronómetro se considera como una de las mejores técnicas de medición ya que contempla además el factor humano, es decir toma en consideración el rendimiento de la persona durante la operación, el cual en algunas otras técnicas de medición no es tomado en cuenta en su totalidad, la figura 1 muestra las diversas técnicas de estudio de tiempos.

No.	Fuente	Técnica de estudio de tiempos
1	Barnes, (1980)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Datos estándar</li> <li>• Muestreo de trabajo</li> <li>• Sistema de tiempos predeterminados (PTS)</li> <li>• Estudio con cronómetro</li> </ul>
2	Niebel, (1993)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio con cronómetro</li> <li>• Recolección de datos computarizados</li> <li>• Datos estándar</li> <li>• Datos de movimiento fundamentales</li> <li>• Muestreo de trabajo y datos históricos</li> </ul>
3	Lawrences, (2000)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio de tiempos</li> <li>• Sistema de datos estándar</li> <li>• Sistema de tiempos predeterminados (PTS)</li> <li>• Muestreo de trabajo</li> <li>• Medida de trabajo fisiológico</li> <li>• Reportaje de labor</li> </ul>
4	Meyers and Stewart, (2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de tiempos predeterminados (PTSS)</li> <li>• Estudio con cronometro</li> <li>• Muestreo de trabajo</li> <li>• Datos estándar</li> <li>• Opinión de expertos e información histórica</li> </ul>
5	Niebel and Freivalds, (2003)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudio de tiempos</li> <li>• Datos estándar y formulas</li> <li>• Sistema de tiempos predeterminados</li> <li>• Muestreo de trabajo</li> </ul>

Figura 1. Nor Diana Hashim, 'Time Study Method Implementation in Manufacturing Industry', A B.E Report, Universiti Teknikal Malaysia, Melaka, 2008, P.10.

El resultado del estudio de tiempos es el conocer el tiempo en que una persona entrenada y adecuada para la actividad puede realizar una operación, con el objetivo de lograr que siempre la operación deba realizarse en un periodo de tiempo determinado, a esto se le conoce como tiempo estándar de operación. Esto significa que uno de los principales objetivos del estudio de tiempos es incrementar la productividad y la fiabilidad del producto, al menor costo posible. Además, existen algunos puntos relevantes en el estudio con cronómetro (Meyers,1999).

- Estimar el costo del producto antes de ser manufacturado, esta información determina la referencia para las ofertas y cotizaciones e inclusive hasta el precio de venta.
- Determinar los planes de trabajo.
- Determinar los costos estándar y también cómo ayuda en la preparación de presupuestos.
- Determinar le eficiencia del equipo.
- Determinación de los estándares de tiempo que se utilizarán como base para el control de los costos laborales.

- Además, ayuda a conocer la labor de la productividad, la eficiencia, y en general el rendimiento del equipo al cual se desea desarrollar una operación.

La figura 2 muestra las principales técnicas de la medición y estudio del trabajo, la aplicación de cada una depende de la necesidad que tenga cada empresa. El estudio de cada una de ellas permite tener mayor seguridad al momento de la elección.

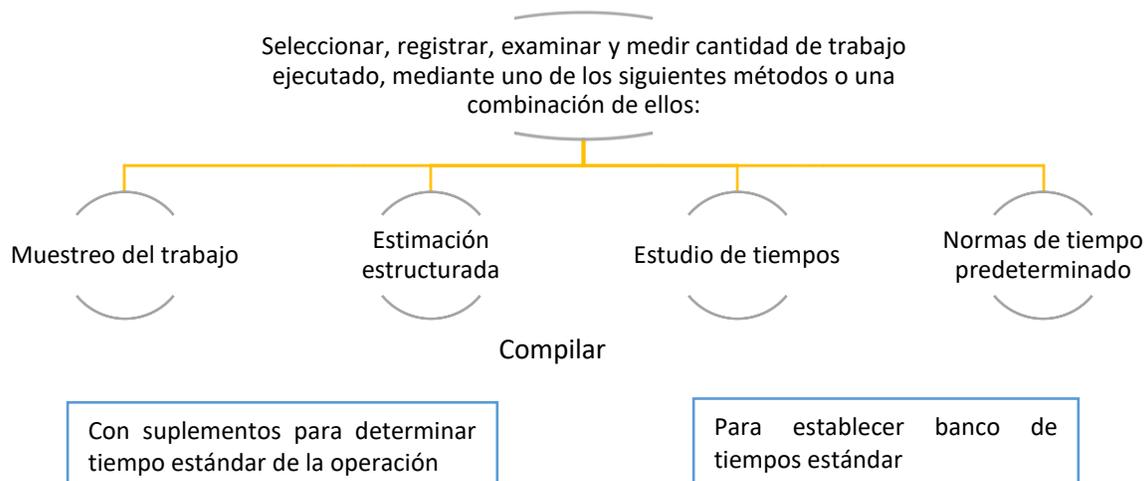


Figura 2. Kanawety G. (1996). Introducción al estudio del trabajo, OIT Organización Internacional, Cuarta edición revisada p.p 256

### Determinar los suplementos de la operación

La determinación de los suplementos quizá sea la parte del estudio del trabajo más sujeta a controversia. Puesto que es sumamente difícil calcular con precisión los suplementos requeridos por determinada tarea. Por lo tanto, lo que se debe procurar es evaluar de manera objetiva los suplementos que pueden aplicarse uniformemente a los diversos elementos de trabajo o bien a las diversas operaciones. La figura 3 muestra en general los tipos de suplementos que se deben de considerar o que pueden encontrarse en diversas operaciones.

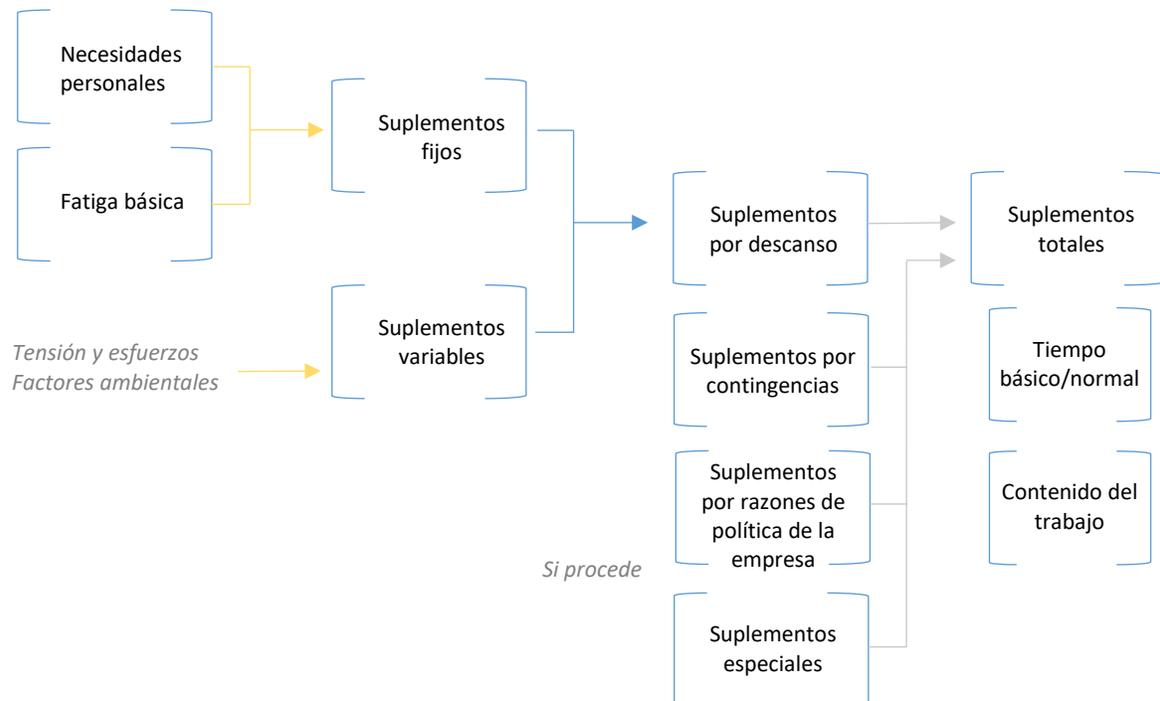


Figura 3. Kanawety G. (1996). Introducción al estudio del trabajo, OIT Organización Internacional, Cuarta edición revisada p.p 289

### Determinación del tiempo estándar de la operación

Por lo anterior se puede tener un mejor entendimiento más completo del tiempo tipo o tiempo estándar correspondiente a una tarea u operación manual común, por lo que considerando los dos suplementos estudiados detalladamente hasta ahora: los suplementos por contingencias y por descanso, es decir, el tiempo estándar de la tarea será la suma de los tiempos tipo de todos los elementos que la componen, considerando la frecuencia con que se presenta cada elemento, más el suplemento por contingencias (con su añadido por descanso). En otras palabras: Como se descompone el tiempo estándar de una tarea manual simple, lo anterior se puede visualizar en la figura 4.

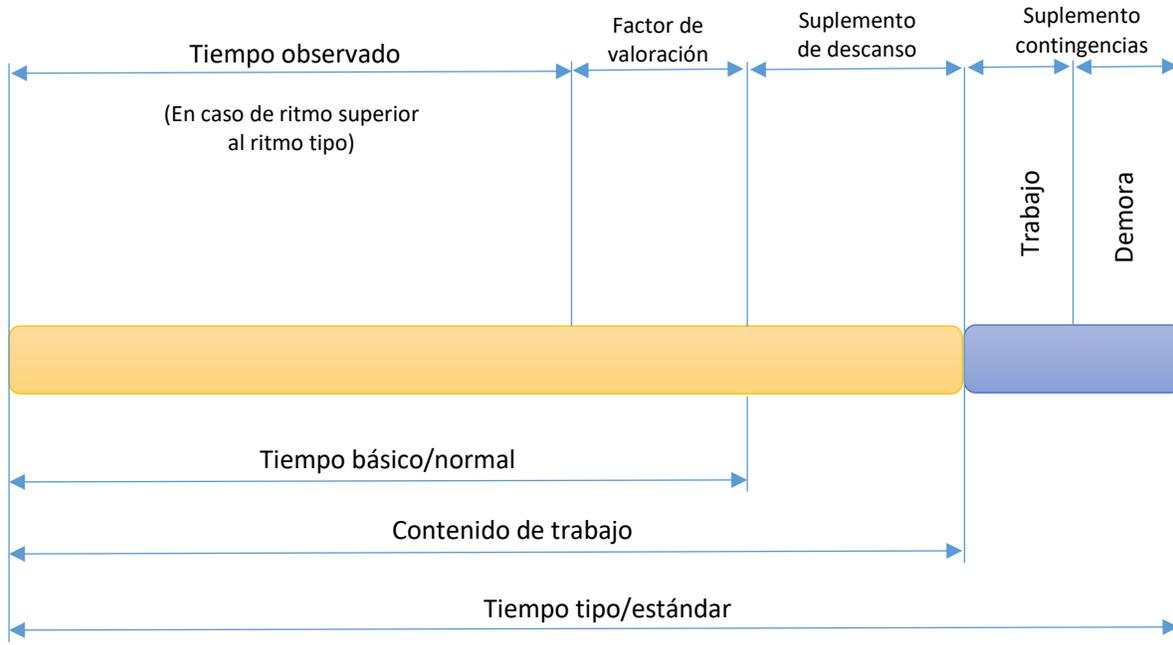


Figura 4. Kanawety G. (1996). Introducción al estudio del trabajo, OIT Organización Internacional, Cuarta edición revisada p.p 289

### Técnica Secuencial De Operación Maynard (*MOST*)

Una extensión de *MTM* (Methods Time Measurement-Medición del tiempo de los métodos), llamada Técnica Secuencial de Operación Maynard (*MOST*, *Maynard Operation Sequence Technique*), es un sistema simplificado que desarrolló Zandin (1980), se aplicó por primera vez en Saab-Scania en Suecia en 1967. Con *MOST* los analistas pueden establecer estándares al menos cinco veces más rápido que con *MTM-1*, con poco o ningún sacrificio de exactitud. Al igual que en *MTM*, el sistema *MOST* tiene tres niveles.

Al nivel más alto, *MaxiMOST* se utiliza para analizar operaciones largas e infrecuentes. Tales operaciones pueden tener una longitud de 2 minutos a varias horas, ocurren menos de 150 veces por semana y tienden a padecer una gran variabilidad. Por lo tanto, es muy rápido, pero menos exacto.

El nivel intermedio de exactitud está cubierto por *BasicMOST*, que cubre operaciones entre los dos rangos descritos anteriormente. La operación típica más apropiada de *BasicMOST* tendría entre 0.5 y 3 minutos de longitud. Y el nivel más bajo, *MiniMOST* se usa para operaciones muy cortas y frecuentes. Tales operaciones tienen menos de 1.6 minutos de longitud, se repiten más de 1 500 veces por semana, y tienen poca variabilidad. En consecuencia, el análisis es muy detallado y preciso, pero consume bastante tiempo.

*MOST* identifica tres modelos básicos de secuencias como se muestra en la figura 5 movimiento general, movimiento controlado y uso de herramienta y equipo.



## Work factor

Smriti Chand (2018) en el artículo "Work Factor System: Six Main Work Factor Systems" menciona que el sistema Work factor se basa en el principio de que las cuatro variables que afectan el tiempo necesario para ejecutar cualquier movimiento manual con:

1. Miembro del cuerpo usado.
2. Distancia recorrida.
3. El control manual necesario (dado por los factores *Work factor*).
4. El peso o resistencia que lleva consigo (convertidos a factores - *Work factor*).

1. Miembro del cuerpo usado: el sistema *Work factor* toma el tiempo de los movimientos considerando a los siguientes miembros: dedos y mano, brazo, giro de antebrazo, tronco y pie.

2. Distancia: el sistema *Work factor* considera y mide la distancia en línea recta entre los puntos de partida y llegada del arco descrita por la parte del miembro usado. La trayectoria real se mide solo en los casos de cambio de dirección.

3. Control manual: el sistema *Work factor* considera en el control manual cuatro factores de Work factor.

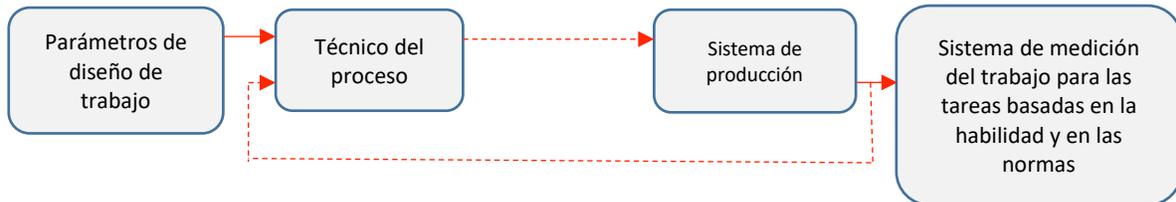
- a) *Factor Work factor* por detención definida: se refiere a aquellos movimientos que cesan a voluntad del operador y no comprende aquellos movimientos que se detienen ante un obstáculo.
- b) *Factor Work factor* por conducción: se refiere al control manual necesario para dirigir o gobernar un movimiento a través de un estrecho espacio o un área reducida.
- c) *Factor Work factor* por precaución: se refiere a la precaución o cuidado que se tiene para prevenir un daño o perjuicio.
- d) *Factor Work factor* por cambio de dirección: es el control necesario para cambiar la dirección del movimiento, así como para sortear un obstáculo.

4. *Factor Work factor* por peso o resistencia: es el peso o resistencia que se encuentra en los trabajos manuales.

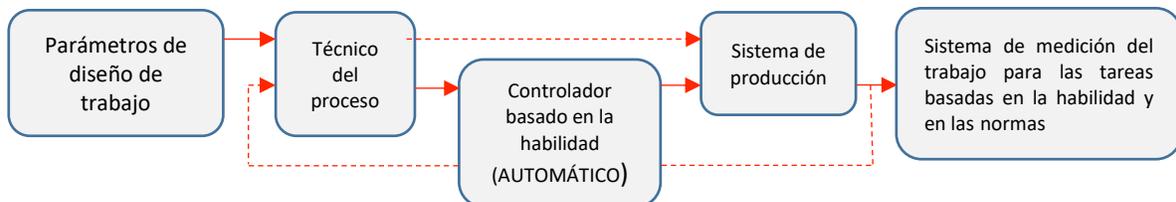
Nombre	Símbolo
Transportar alcanzar/mover	
Pre posicionar	PP
Ensamblar	Asy
Desensamblar	Dsy
Soltar	RI
Sujetar	Gr

Las actividades de trabajo humano en procesos automatizados varían dependiendo el control del sistema. Karwowski y Ward (1989) han definido 4 niveles de control: manual, semiautomático, de supervisión y cognoscitivo, como se muestra en la siguiente figura 7.

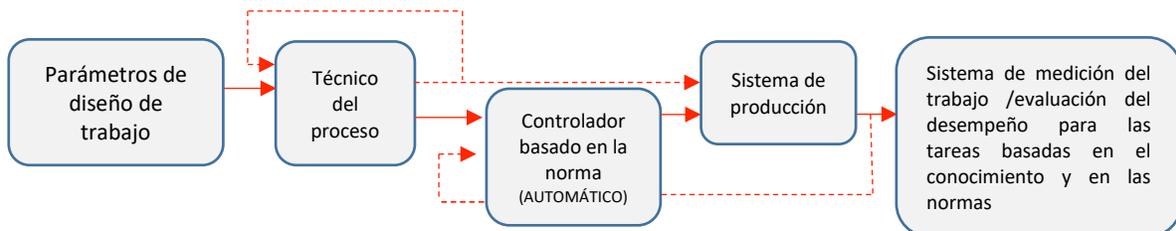
Nivel 1: Control manual del sistema.



Nivel 2: Control semiautomático del sistema.



Nivel 3: Control supervisor del sistema.



Nivel 4: Control cognoscitivo del sistema.

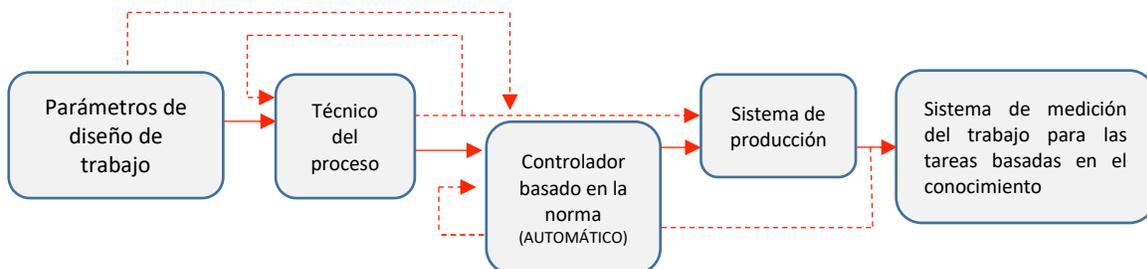


Figura 7. La medición del trabajo para diferentes niveles de automatización asistida por computadora (Reimpreso de W. Karwowski y T.L. Ward "Work Design and Measurement: Critical Issues for Advanced Manufacturing", Procedimientos, Conferencia internacional de ingeniería industrial, Toronto 1989, p.514. Derechos de autor: Dr. W. Karwowski, Department of Mechanical Engineering, Tampere University of Technology, Tampere, Finlandia)

### **3.2.1 Eficiencia operacional**

En el ámbito de la ingeniería y administración se asocia la palabra eficiencia con qué tan bien una acción relevante es realizada, es decir; hacer las cosas bien, de esta manera se es eficiente si se logra alguna actividad con mínimos recursos. La eficiencia operacional se entiende como la actividad de entregar productos y servicios eficientemente sin comprometer la calidad de estos.

Los métodos para la medición de la eficiencia dependen de los niveles de análisis a los cuales se desea obtener; estos niveles de medición se pueden obtener desde niveles micro, nivel en donde es posible hacer la medición de la eficiencia operacional en elementos como equipo o maquinaria, estaciones de trabajo o colaboradores dentro de una organización (Lee y Johnson, 2010), mientras que la medición a nivel macro se refiere a la medición de la organización considerando la mayoría de las áreas o solo en áreas clave definidas por la organización. Una base fundamental para realizar la medición de la eficiencia es la evaluación del desempeño a nivel operacional, con el objetivo de aplicar posteriormente medidas cuyo fin sea mejorar la productividad, para después promover el análisis de la eficiencia a niveles superiores.

La eficiencia mide de igual manera la relación entre las entradas y las salidas o visto de otra manera se entiende como la transformación de las entradas para generar las salidas.

Pringrayong y Siengthai (2012), mencionan que existe una diferencia entre la eficiencia del negocio y la eficiencia organizacional, la primera muestra el desempeño de los recursos o entradas con el resultado alcanzado, mientras que la eficiencia organizacional refleja la mejora dentro de los procesos internos de la organización, tal es el caso de la estructura organizacional, cultura y comunidad. Una excelente eficiencia organizacional puede mejorar el desempeño de la entidad en términos de administración, productividad, calidad y rentabilidad.

Eficacia y eficiencia son excluyentes y al mismo tiempo influyen entre sí, por ello es importante para la administración asegurarse del éxito en ambas áreas.

### **3.2.2 Análisis de cambios en el proceso**

Antes de que un trabajo sea realizado o un producto terminado, existen actividades de preparación que fueron realizadas. El tiempo de preparación (*Set up*), es el tiempo requerido para preparar el equipo para realizar determinada operación para cierta cantidad de productos (Harrington,2012).

Los procedimientos de preparación o cambios generalmente se consideran muy variados, dependiendo del tipo de operación y el tipo de equipo que se utiliza. Sin embargo, cuando estos

procedimientos se analizan desde un punto de vista diferente, se puede ver que todas las operaciones de preparación o cambios comprenden una secuencia de pasos (Shingo,1983).

Comúnmente las operaciones dentro un sistema productivo se pueden clasificar de acuerdo con la tabla 2.

Operación	Proporción del tiempo
Montaje y desmontaje de cuchillas, (elementos necesarios para la operación)	5%
Centrado, dimensionamiento y configuración de otras condiciones.	15%
Preparación, ajuste posterior al proceso y verificación de materia prima, cuchillas, troqueles, plantillas, medidores, etc.	30%
Ejecuciones de prueba y ajustes.	50%

Tabla 2. Pasos en el proceso de Set up/ preparación. Shigeo Shingo (1983).

*Set up*= todos los pasos necesarios para el desarrollo de una actividad.

*Set up* implica todos los pasos necesarios para cambiar de un producto hasta la configuración del siguiente. El tiempo de set up se define como la suma de los tiempos individuales tomados para realizar los pasos antes mencionados como se muestra en la figura 8.

Hoy en día resulta a menudo difícil controlar los tiempos asignados para set up, estos a su vez, pueden ser mejorados a través del mejor control de la producción. Esto implica preparar herramientas y material, recibir instrucciones, preparar las estaciones de trabajo e inclusive limpiar la estación hasta por último regresar la herramienta hasta el lugar en donde fue tomada.

Un cambio en el proceso usualmente se lleva a cabo cuando dentro de una línea o una celda de producción se realizan diferentes productos, el cambio generalmente se presenta cuando un determinado producto exige diferentes características o cuando el requerimiento o demanda requiere a que se cambie de producto. De igual manera se puede presentar un cambio en el momento en que un producto ya haya sido fabricado en cierta cantidad.

Un tiempo de preparación por lo regular es más largo que el tiempo estándar de una operación, es por ello que este tiempo debe de ser tomado en consideración cuando se diseña una celda de manufactura flexible: hoy en día empresas emplean herramientas que permitan disminuir dichos cambios (Harrington ,2012).

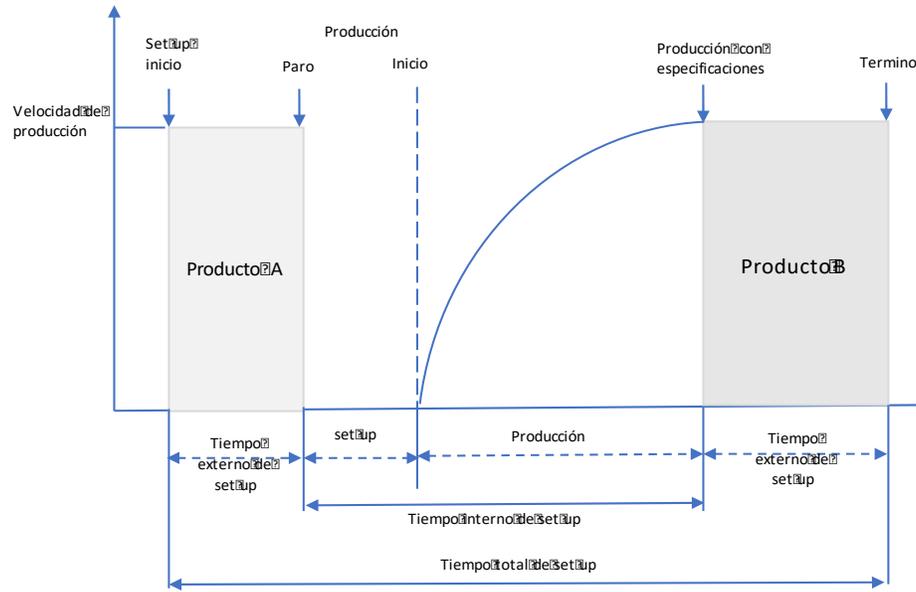


Figura 8. Representación esquemática de Set up Herr Kastern, (2014). Quick Changeover Concepts Applied: Dramatically Reduce Set-Up Time and Increase Production Flexibility with SMED.

### 3.3 Casos de aplicación de modelos de capacidades

#### 3.3.1 Concepto e importancia de un modelo

En el campo de la ciencia, un modelo es una representación de una idea, un objeto o incluso un proceso o un sistema que es utilizado para describir y explicar fenómenos que no se pueden experimentar directamente. Los modelos son centros de lo que los científicos hacen, con respecto a la investigación y también cuanto comunica sus explicaciones (Adúriz-Bravo, 2012).

*The Ambitious Science Teaching* (AST, 2011) en el artículo “*Models and Modeling*” menciona que los modelos pueden surgir como dibujos en un pizarrón, diagramas en artículos de investigación e incluso a como bocetos por lo que en cualquier lugar que estos aparezcan son y serán, un objeto que refleja cambios pensando en un conjunto de ideas. Los modelos no solo reflejan razonamiento, sino también estimulan la generación de nuevas ideas.

En general, los modelos son herramientas que representan la teoría con el experimento, además funcionan para simplificar representaciones o una realidad imaginada que permite desarrollar y probar a través de la experimentación.

Un modelo es una serie de reglas o fórmulas que tratan de representar el comportamiento de un fenómeno. Pero realmente quienes necesitan un modelo, usualmente existe un entendimiento de cualquier fenómeno, sin embargo, la representación de modelos no tiene poco tiempo,

particularmente si se habla de modelos matemáticos, algunas de las razones por la cuales se deben de utilizar son:

- Generar un mejor entendimiento de un fenómeno implica llegar a tener un ajuste más preciso de los parámetros.
- Cuando se trata de manejar parámetros, conocer cuando se tienen un comportamiento fuera de los límites, ayuda a detectarlo, analizarlo o excluirlo respectivamente.
- Permite encontrar valores de los parámetros que llevan a un resultado.

Por lo que, la construcción de un modelo matemático usualmente significa un mejor control sobre un fenómeno, que se traduce a tener mayor precisión, obteniendo resultados sin una alta demanda de inversión y una mejor calidad de las salidas.

A menudo los investigadores discutirán sobre la corrección de un modelo y en el proceso, por lo que el modelo evolucionará o será rechazado y como consecuencia, los modelos son fundamentales para el proceso de construcción de conocimiento en la ciencia, puesto que demuestran que el conocimiento científico es tentativo.

Un modelo matemático robusto (*RMM*), por definición es aquel que toma incertidumbres presentes en consideración, este funcionará, dará algo, incluso si los objetivos no son claros, incluso si los datos no son completamente veraces, dado que en la construcción todo lo anterior influye para su postulación y construcción.

Para la construcción de un modelo inicialmente se considera una cantidad pequeña de información y se construye una mejor representación del fenómeno del que se trata de explicar utilizando al mismo tiempo predicciones, aunque en algunas ocasiones la mayoría de estos modelos son matemáticos, más que representaciones visuales, sin embargo, el principio es igual. Hub Articles (2018). Scientific modelling. *Science Learning Hub*, Vol. 1

De acuerdo con la *Société de Calcul Mathématique* (Sociedad de cálculo matemático), existen diferentes clases de modelos, dentro de los que destacan aquellos que se rigen de leyes físicas, aquellos que se basan en leyes empíricas o leyes naturales y finalmente se pueden encontrar aquellos que están fundamentados en leyes estadísticas.

Por lo anterior básicamente existen 3 preguntas que llevan a tener un modelo funcional.

- ¿Cuál es el objetivo, qué deseamos obtener?
- ¿Qué es lo que se conoce, qué lo rige?
- ¿Cuál es la información, qué es lo que se observa?

El modelado está muy relacionado con diversas prácticas en las que los científicos y catedráticos participan, todos bajo la premisa de construir conocimiento, mismo que implica cuestionarse, diseñar nuevos estudios, recolectar y analizar información, cuestionar de acuerdo con la evidencia y comunicar lo encontrado.

### **3.3.2 Modelados en sistemas de manufactura**

La administración de la producción es definida como una de las principales tareas en la administración de una organización que permite: la planeación, organización, coordinación, administración y control de los recursos, mientras que la capacidad de producción de una organización de cierta forma es definida como los productos que pueden ser manufacturados con el soporte de un método específico y con el objetivo de cumplir con un plan de entregas o ventas.

Estas actividades deben realizarse de tal manera que el trabajo sea ejecutado; recursos disponibles y capital deben estar disponibles para que la organización pueda ser beneficiada. Joanna Nowakowska-Grunt (2015), menciona que el modelado matemático basado en un problema de decisión está basado en el análisis de la situación para la toma de la misma.

Todas las variables deben de ser analizadas, con el fin de tomar una mejor decisión, y así tener la máxima ganancia posible.

Por ello, la planeación de la capacidad es un elemento vital en el proceso de toma de decisiones, en particular en el cambio de situaciones o cantidades dentro de un sistema de producción. Por lo tanto, el modelado matemático crea diversas posibilidades para la planeación de la capacidad de producción, tanto para empresas pequeñas o grandes.

### **3.3.3 Análisis orientado a la capacidad y diseño de sistemas de producción**

Durante el diseño de un sistema de producción uno de los principales enfoques que se busca más allá del detalle de la medición del desempeño u objetivos, es el interés orientado a la capacidad del nuevo sistema de producción, determinar la capacidad del sistema repercute en los resultados alcanzados. Por esta razón en diversas ocasiones no se ejecuta como se planea, la ejecución junto con la planeación debe tener un nivel mínimo de variación o por lo menor tener un valor conocido y consensado por parte de quien lo planea.

Mientras que el detalle de desempeño de los objetivos puede ser desde la entrega de un producto específico en un tiempo adecuado, el objetivo de la capacidad, también conocido como objetivo

agregado, es aquel objetivo que se enfoca directamente al comportamiento global del sistema de producción, expresado en una unidad.

Algunos de los ejemplos existentes basados en objetivos orientados en cuanto a capacidad son el volumen expresado a productos por año o bien la entrega del volumen en tiempo y el poco trabajo en proceso (*WIP- Work in process*) que se tenga.

Por tal motivo una de las principales tareas en el control de la producción es generar un producto detallado bajo un buen aprovechamiento de la capacidad.

Es conocido que el diseño de las características de producción, como es el caso del volumen de producción, son frecuentemente desconocidas. Por ello las únicas cosas que son conocidas son los objetivos orientados a la capacidad son: el cierto rendimiento deseado, promedio de rendimiento deseado, grado de servicio, trabajo en proceso (*WIP*).

Un principio fundamental para modelar sistemas de capacidad es considerar desde un inicio la existencia de objetivos expresados en agregados, es decir enfocados al funcionamiento global del sistema de producción, por esta razón al definir la estructura de un modelo se pueden definir los controles agregados.

Para el análisis del ambiente en el diseño de un proceso, es importante revisar en paralelo la planeación del proceso, así como también aspectos financieros, inversión, capacidad y una extensa planeación del proceso operacional.

### **3.4 Diseño óptimo de sistemas de manufactura flexible**

En años recientes los sistemas avanzados de manufactura- *AMSs (Advanced Manufacturing Systems)* han tomado mayor importancia debido a la introducción de nuevos mercados, mismos que combinan diferentes tecnologías y equipos en los sistemas de manufactura.

En el momento de diferenciar a las nuevas arquitecturas en los sistemas avanzados de manufactura, se pueden encontrar los siguientes: transferencias de líneas flexibles, células flexibles de manufactura y sistemas flexibles de manufactura, de acuerdo con Andrea Matta (2005). Es importante mencionar que mientras algunos ya han sido explorados y son conocidos, algunos otros son particularmente complejos por diversas razones, puesto que se requiere de una gran cantidad de inversión, además dado que la flexibilidad de conocer el comportamiento de los futuros escenarios implica evaluarlos en diversos enfoques, lo que significa no entender por completo los riesgos que cada uno de ellos implica.

Para que un sistema avanzado de manufactura pueda ser rentable a largo plazo, un sistema de producción debe de ser eficiente y al mismo de tiempo debe estar alineado a la estrategia de la organización, aun en la práctica si se tiene una buena ejecución de un sistema de producción este puede tener conflictos si se separa de la estrategia de la compañía.

La selección de la capacidad ha cobrado mayor relevancia para las empresas de manufactura ya que una buena o mala decisión puede afectar profundamente en la rentabilidad de la organización para poder invertir en adquirir nueva capacidad.

En la práctica, debido a que la capacidad tiene un costo inmerso, no es posible solucionar la falta de esta simplemente adquiriendo capacidad extra para poder hacer frente a todos los posibles cambios de requerimientos futuros, sino que es necesario saber cuál es la capacidad necesaria exacta para así saber el costo de mantener dicha la capacidad. Todos estos aspectos tienden a obstaculizar a la exploración a nuevas oportunidades ofrecidas por los sistemas avanzados de manufactura.

El problema de la planeación de la capacidad en AMSs ha sido profundamente investigado en los últimos 20 años. Sin embargo, las metodologías propuestas no alcanzan el objetivo primordial. La mayoría de ellas no ofrece una solución integral al problema completo, sino que limita su enfoque a algunos subproblemas ya definidos.

### 3.4.1 Diseño de sistemas avanzados de manufactura

El tiempo ciclo ( $t$ ) es el tiempo necesario para procesar una parte o un producto en un equipo. El tiempo ciclo quizá sea constante, variable o aleatorio. En sistemas de producción de gran escala este tiende a ser constante, ( $t$ ) es prácticamente siempre constante o tiende a estar muy cerca de ser constante. Este es el caso de la mayoría de los sistemas de producción que principalmente se encuentran en industria del sector automotriz, electrónica, entre otras. Mientras que el tiempo ciclo variable o aleatorio ( $\tau$ ) es utilizado en ambientes de orden de compra, es decir, donde cada parte probablemente tenga diferente especificación de procesamiento o manufactura (Meerkov,2009).

Con respecto a la capacidad del equipo ( $c$ ) denotado como el número de partes o productos manufacturados por unidad de tiempo cuando el equipo está en funcionamiento. Claramente, en caso de que la variable fuera constante  $\tau$  se representa de la siguiente manera:

$$c = \frac{1}{\tau}$$

$c$ = capacidad del equipo

$\tau$ = tiempo ciclo variable o aleatorio

Existen otros casos en donde se tienen equipos en un sistema de producción que tengan tiempo ciclos idénticos o diferentes. En caso de que los tiempos ciclo sean idénticos o se tengan los mismos equipos o máquinas, se consideran como síncronos, de otra manera son considerados como asíncronos, ya que son diferentes desde el inicio y hasta el final de una operación.

La velocidad de producción (*PR-Production rate*) es el promedio de número de partes manufacturadas por el último equipo o máquina dentro de un sistema de producción por tiempo ciclo en el estado estable del sistema de producción.

Por tal motivo la velocidad de producción es considerado un indicador o una medida en un sistema de producción, mismo que es apropiado para los sistemas de producción en donde todos los equipos tienen un tiempo ciclo similar. Por el contrario, el rendimiento (*TP-Throughput*) es el promedio del número de partes producidas por el último equipo dentro de un sistema de producción por tiempo ciclo en el estado estable de la operación del sistema. Claramente, *TP* puede ser usado como caso síncrono, en este caso:

$$TP=c*PR,$$

Donde *c* es la capacidad del equipo

### 3.4.2 Cálculos de capacidad

No siempre la medición de la capacidad es un indicador que se pueda manejar de manera individual, es decir la medida de la capacidad debe de ser adecuada a cada situación, la tabla 3 muestra algunos ejemplos de las principales medidas de capacidad en algunas áreas.

Aplicación	Entradas	Salidas
<b>Manufactura de Autos</b>	Horas labor Horas máquina	Número de autos por turno
<b>Restaurante</b>	Número de mesas Capacidad de asientos	Número de clientes servidos por día
<b>Teatro</b>	Número de asientos	Número de tickets vendidos

Tabla 3. Medidas comunes de capacidad

#### Medida de la eficacia del sistema

La eficiencia y la utilización son 2 medidas de la eficacia del sistema, ya que mientras la eficiencia es el rendimiento actual de las salidas con respecto a la capacidad efectiva, la utilización es el rendimiento actual de las salidas con respecto a la capacidad de diseño.

Por otra parte, los factores relacionados a las facilidades existentes dentro de la organización y los factores de producto y/o servicio, permiten que la capacidad dentro de la organización pueda ser analizada de una forma más detallada. La tabla 4 muestra un resumen de lo mencionado anteriormente.

<b>Factores</b>	<b>Sub-factores</b>
<b>Instalaciones</b>	Diseño, locación y <i>Layout</i> .
<b>Producto/Servicio</b>	Diseño, producto y mezcla de servicios
<b>Proceso</b>	Cantidad y calidad de capacidades
<b>Factores humanos</b>	Contenido de trabajo, diseño del trabajo, entrenamiento, experiencia, motivación, compensaciones, absentismo.
<b>Operacional</b>	Entrenamiento, Administración de materiales, aseguramiento de calidad, políticas de mantenimiento.
<b>Factores externos</b>	Estándares de productos, regulaciones de seguridad.

Tabla 4. Factores que determinan la capacidad efectiva.

### **Estrategia de capacidad**

La planeación de la capacidad a largo plazo significa una estrategia de decisión. Los requerimientos de capacidad pueden ser evaluados desde dos perspectivas extremas, corta y a largo plazo. Después de evaluar los futuros existentes para los requerimientos de capacidad, diversas alternativas para la modificación de la capacidad deben de ser evaluadas (Jingshan Li, 2009).

De acuerdo con la escuela de negocios U. Bangladesh (2005), los aspectos estratégicos de la capacidad pueden tener impacto en la organización de la siguiente manera.

Si la capacidad es demasiado pequeña se representa como:

- Pérdida de clientes.
- Permite que los competidores entren en el mercado.
- Poca reacción para brindar el servicio o producto adecuado.

Por otra parte, si la organización tiene una capacidad demasiado amplia, está presenta diversas situaciones, por ejemplo:

- Tiene dificultades para el control de sus operaciones.
- Incrementa la oferta en el mercado y por ende disminuye los precios.
- Imposibilidad de pagar por el costo de construir una capacidad a gran escala.

Diversas organizaciones incrementan su capacidad con el intento de dominar la industria, una de ellas es tener una capacidad de gran escala. Sin embargo, diversos escenarios deben de ser analizados hasta el punto de tener rentabilidad en el negocio. Por esta razón la evaluación de la estrategia de la capacidad debe de considerar los siguientes aspectos, de acuerdo con la escuela de negocios U. Bangladesh (2005).

- Análisis de equilibrio: consiste en determinar los costos fijos de la capacidad existente, los costos variables de las salidas, el retorno de las salidas y el efecto de diferentes volúmenes de la demanda, esta evaluación es conocida como análisis de equilibrio, en donde todos los análisis financieros son utilizados para clasificar las propuestas de inversión.
- Respuestas a corto plazo: la mayoría de las gerencias logran proyectar la demanda a corto plazo de tal manera que la organización pueda manejarla, con dicha proyección la gerencia anticipa los requerimientos de salida de los diversos productos o servicios. Después comparan los requerimientos con la capacidad actual y detectan cuando los ajustes en capacidad son requeridos. Algunos de los ajustes pueden ser si la conversión de los procesos son primarios como la labor o inversión de capital o bien, otra de manera se responder al incremento de capacidad es fabricar en mayor proporción buscando satisfacer por completo la nueva necesidad, sin embargo, antes de implementar esta opción es necesario que la organización no tenga alguna limitante con el inventario a generar para cumplir con esta demanda.

Los procesos intensivos en capital dependen de instalaciones físicas, la planta y el equipo, por tal motivo operando estas instalaciones a gran escala, es decir utilizándolos más de lo habitual, se podría modificar la capacidad a corto plazo. Los costos de instalación, cambios de herramental y el mantenimiento de instalaciones, el manejo de materia prima, personal, control de inventarios y programación pueden ser modificados por el cambio de capacidad. Por el contrario, si planea realizar la modificación a largo plazo: debido al futuro incierto de la demanda y a los requerimientos tecnológicos a largo plazo (5-10 años) se tienen mayores riesgos, los cuales que son más difíciles de determinar. Con el rápido cambio en los desarrollos tecnológicos es difícil considerar que los productos existentes continúen en un periodo de terminado o no.

Por tal motivo, los requerimientos en capacidad a largo plazo dependen de los planes de mercadotecnia, desarrollo del producto y tiempo de vida de los productos. En este sentido es importante anticiparse a los procesos tecnológicos. Incluso si los productos no cambian, quizá el método para poder producirlos puede que cambie drásticamente, como conclusión, es importante que la planeación de la capacidad involucre el pronóstico de la tecnología y también el pronóstico de la demanda.

- Y finalmente la teoría de decisiones: de acuerdo con la escuela de negocios U. Bangladesh (2005) incluye los siguientes pasos:
  - a) Identificación de posibles condiciones futuras.

- b) Desarrollo de posibles alternativas, en donde quizá alguna de ellas sea el no realizar nada.
- c) Estimación del costo asociado con cada una de las alternativas para cada una de las posibles futuras decisiones.
- d) La evaluación de las alternativas acorde a algunos criterios de decisión y selección de la mejor alternativa.

### 3.5 Modelado en sistemas dinámicos

Un modelo matemático de un sistema de producción se puede definir con base en los siguientes 5 componentes de acuerdo con Jingshan Li y Semyon M. Meerkov (2009):

- Tipo de sistema de producción: muestra como los equipos y el material, controles de estos, están conectados y al mismo tiempo que definen el flujo de las partes dentro del sistema.
- Modelos de los equipos: cuantifican la operación de los equipos visto desde el punto de productividad, fiabilidad y calidad.
- Modelos de los controles de manejo de materiales: cuantifican sus parámetros, los cuales afectan en el rendimiento de todo el sistema.
- Reglas de interacción entre los equipos y controles en el manejo de materiales: definen como los estados de los equipos y los controles en el manejo de materiales afectan el uno al otro, resultando como consecuencia la unicidad o cohesión de la descripción matemática.
- Y finalmente las medidas de desempeño: que se enfocan a las métricas, cuantifican la eficiencia de la operación y por lo tanto es punto central de análisis, mejora continua y diseño de métodos.

Moore y Jablonski (1979) clasifican a los tipos de sistemas de producción de la siguiente manera:

- Sistemas de producción en serie.
- Sistemas de producción modular.
- Sistemas de producción intermitente.
- Sistemas de estructural.

Los sistemas de producción en serie, conocidos también por manufacturar unidades en secuencia o bien estar estructurados a través de un arreglo consecutivo de equipos, se caracterizan por tener controles de manejo de material de una unidad a otra. Por ello, las unidades de producción pueden ser equipos individuales o bien células de trabajo y los controles de manejo de materiales podrían ser desde *conveyors* (es un equipo de manipulación mecánica que mueve materiales de un lugar a otro) o vehículos guiados. Otro de los controles de manejo de materiales que se pueden encontrar

son los buffers o bancos en el proceso los cuales garantizan la satisfacción de los clientes en donde la información de los sistemas de producción es poco confiable debido a variaciones existentes.

En la producción en serie también existen las operaciones de inspección con el objetivo de identificar y remover las partes defectivas producidas en el sistema de producción. Además, se pueden tener áreas de retrabajos en la línea, conocido como líneas reentrantes que representan el peor funcionamiento en el sistema de manufactura.

Por el contrario, un sistema de producción modular consta de 2 o más sistemas lineales en serie enfocado a líneas de componentes. Por ejemplo, 1 o más operaciones unidas donde los componentes son ensamblados y quizá varias operaciones subsecuentes son realizadas hasta obtener una parte o producto final.

El tercer tipo es el sistema de producción intermitente, que es caracterizado por la fabricación de lotes, una amplia variedad de requerimientos o productos caracterizan este tipo de sistemas, generalmente la especialización del personal es relativamente alta, por lo que los costos de producción son más elevados comparado con un sistema de producción en serie.

Otro de los sistemas de producción que existe es el modelo estructural, el cual existe cuando se tiene un grupo de operaciones o equipos que por lo común se encuentran relacionadas por justificación de capacidades, desarrollo tecnológico, y que resultan en una operación subsecuente.

### **Pasos para el modelado, análisis, diseño y mejora de sistemas de producción**

Son 5 las fases que se pueden considerar para poder generar el proceso de modelación de un sistema de producción (Tetzlaff, 1990).

- a) Investigación de la distribución de planta: es importante que, desde el diseño de un nuevo sistema de producción, se identifique la distribución del equipo.
- b) Modelo estructural: una vez identifica la ubicación y el flujo del proceso, se puede definir cuál es el tipo de sistema de producción que se tiene.
- c) Identificación de parámetros del equipo: conocer el tiempo ciclo del equipo, coeficiente de variación del equipo, el tiempo promedio de paro, resulta tener un mejor diseño de modelación ya que se consideran diferentes parámetros.
- d) Identificación de parámetros de buffer: determinar cuál es la capacidad del sistema de producción, en términos de poder tener un buffer en alguna de las etapas o procesos del sistema de producción.
- e) Validación del modelo: finalmente, la comparación de las predicciones del modelo permite tener retroalimentación del diseño y buscar alguna mejora.

### **3.6 Definición de un modelo agregado**

Para la entrega de un servicio, el alcance de un modelo está basado en la estimación de la demanda considerando los recursos disponibles, así como la administración de estos como, por ejemplo, el tiempo que va a ser dedicado para cada uno de ellos hasta lograr un buen desempeño (Program Management Institut, 2004).

Debido a que un modelo puede ser diseñado bajo condiciones naturales de operación, es decir sin afectar características de este, dichos modelos se pueden aplicar dependiendo de la finalidad, en ocasiones aplicado a los procesos de manufactura en sistemas de producción, se pueden modelar de acuerdo con las características importantes que se consideren para la toma de decisiones.

Frente a cualquier cambio en el requerimiento es necesario poder tener los controles o las medidas de cómo se puede manejar cualquier incremento o desviación fuera de su análisis, por esta razón cuando se están analizando modelos relacionados con costos es importante analizar el impacto de los costos que afecta directamente al desempeño de la capacidad del sistema de producción.

## **Capítulo IV Propuesta de Modelo Agregado de Manufactura**

### **4.1 Importancia y justificación de la propuesta de un modelo agregado**

La implementación y desarrollo de un modelo agregado de manufactura será una herramienta que permita a las organizaciones principalmente a los proveedores de autopartes entender de una manera práctica visto desde lo global a lo particular su propio sistema de producción, mismo que evoluciona constantemente en un ambiente dinámico, el cual permite responder a las necesidades de un mercado volátil, por parte de las *OEMs*, entre las que destacan análisis de la demanda, proyectándolo con la capacidad instalada o requerida. Además, a través de la modelación de información del sistema de producción, se mejora en responder a necesidades de las *OEMs* actuales y adicionalmente permitirá tener un mejor entendimiento para poder ser más competitivos y atraer nuevos negocios.

Por esta razón, modelo agregado de manufactura se implementará en una empresa del sector automotriz; proveedora de autopartes la cual presenta varias de las características o necesidades que un sistema de producción debe de tener para que sea implementado dicho modelo con el fin de mejorar el entendimiento de un sistema de producción.

### **4.2 Desarrollo del modelo agregado**

Para el planteamiento de un modelo agregado de manufactura, se decidió desarrollarlo bajo una serie de fases, las cuales han sido exploradas de manera independiente en el área de ingeniería industrial. Por otra parte, un modelo agregado dentro de esta investigación busca que dentro un sistema de producción se tenga una secuencia lógica de fases que permitan reaccionar a nuevas necesidades del mercado o bien mejorar el entendimiento del sistema de producción con características volátiles.

Dentro del ámbito de investigación de operaciones se pueden encontrar fases que están establecidas como parte primordial de la metodología de un modelo agregado. Las fases como la definición de una problemática, construcción de un modelo, solución de un modelo, validación de un modelo y finalmente la implementación de la solución.

Sabemos que cada metodología se fundamenta y se define bajo cierta estructura como se muestra en la figura 9.

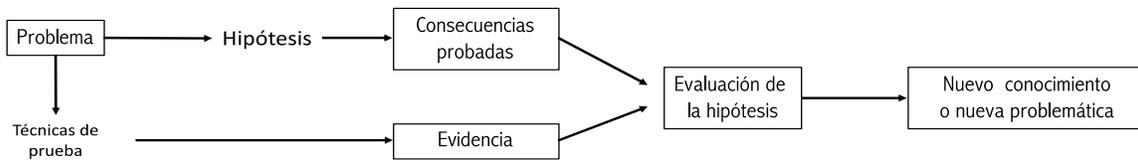


Figura 9. Diagrama de flujo de investigación, (Igwenagu C. 2016)

La figura 10 muestra que un modelo de manufactura agregado constará de 6 etapas principales las cuales se muestran en el siguiente esquema, debido a que una de las necesidades principales al momento de utilizarlo es conocer el sistema de producción, por ello inicia con una fase de conocimiento y entendimiento de la operación. Una vez que se conoce cómo funciona, surge la necesidad de saber cuánto tiempo se utiliza para realizar cada proceso u operación. Posterior a esta fase se tiene una fase de simulación del comportamiento del sistema, es decir la interacción entre variables o actividades inmersas en la operación. Una vez realizadas las 3 primeras fases se revisa qué posición tiene la organización en términos de crecimiento y productividad. En esta fase se determina si se está en posición de crecimiento interno, posibilidad de nuevas adquisiciones de negocios o bien necesidad de mejora en desempeño. Si la oportunidad es de crecimiento, la simulación permite representar el comportamiento de un sistema sin tenerlo físicamente con el fin de poder entender su funcionamiento lo más cercano a la realidad, lo anterior con ayuda de resultados obtenidos en estudios realizados en los diversos procesos o procesos similares y finalmente la última fase consiste en modificar y proyectar el comportamiento de las variables ante distintos escenarios requeridos por parte de un mercado, es decir un cliente u *OEMs*.

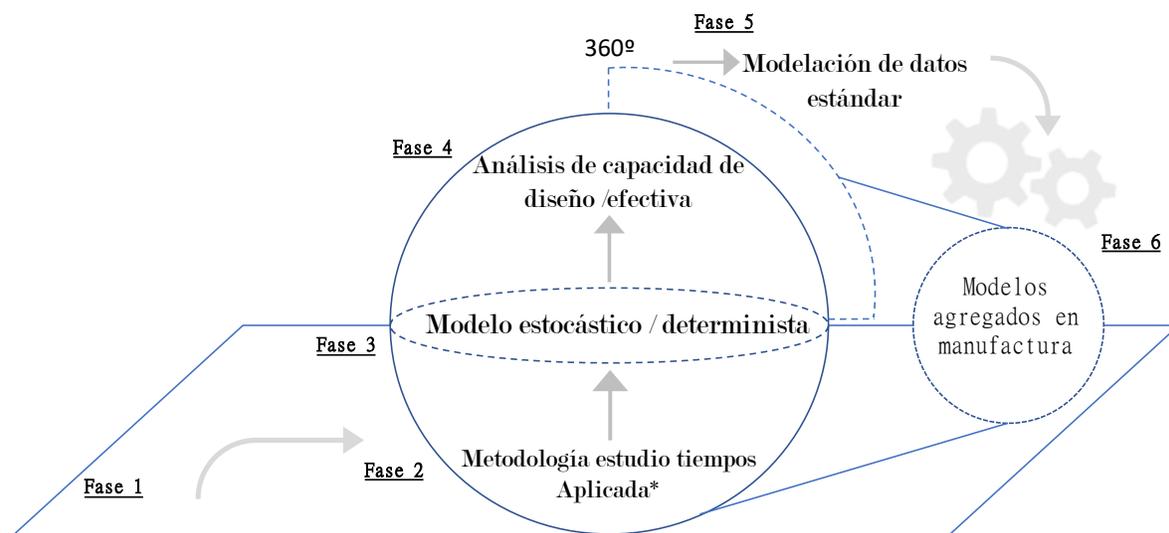


Figura 10. Esquema de modelos agregados en sistemas de producción. Elaboración propia

### **4.2.1 Fase 1: Análisis de la operación**

La fase inicial permite que desde un inicio cualquier organización pueda conocer y detallar su operación, es decir que cada uno de los procesos de transformación o manufactura necesitan ser definidos, analizados, entendidos, es decir validar que cada uno de los procesos sea realizado con base en un procedimiento estándar definido por la organización y/o alineado a un procedimiento corporativo. Lo anterior con el objetivo de que la organización identifique nivel de estandarización en los procesos, principales factores que influyen positiva y negativamente en la estandarización, desperdicios y oportunidades de mejora, como fase inicial de identificación.

### **4.2.2 Fase 2: Metodología estudio de tiempos aplicada**

Esta fase inicia una vez que una organización determina y tiene un nivel de conocimiento adecuado, es decir que conoce las actividades que agregan valor y las que no en los procesos de manufactura y en el sistema de producción, y a su vez identifica que a pesar de que no agreguen valor, conocen la proporción en la que impactan a la operación.

Considerando que las operaciones a analizar son conocidas, es momento de poder desarrollar la segunda fase del modelo agregado de manufactura, lo que estimula a la organización a que consense cual o cuales metodologías o técnicas se utilizarán para los fines que el modelo agregado de manufactura oriente.

Existen diferentes técnicas de toma de tiempos en los procesos de producción como se explicó en el capítulo 2, del mismo modo todas estas metodologías comparten objetivos, sin embargo, para fines de la implementación del modelo agregado de manufactura, únicamente se centra el objetivo primordial que se refiere a cuánto es el tiempo en el que un proceso u operación es realizada con un resultado aceptable, es decir que cumple con las características establecidas por la organización y cliente.

### **4.2.3 Fase 3: Modelación y Simulación**

El proceso de modelación es una herramienta fundamental ya que permite representar información existente dentro de los distintos procesos o subsistemas dentro de un proceso productivo, su funcionalidad ayuda a que las organizaciones puedan conocer de mejor manera aquellos factores que afectan a dichos sistemas, otra funcionalidad es la de poder estimar o simular mejores comportamientos de ciertas variables o indicadores como puede ser desde la eficiencia de sistema o subsistema.

La simulación dentro de modelos agregados permitirá que se pueda realizar la estimación de tiempos de fabricación de diversos procesos de la organización, los cuales aún no se encuentran actualmente implementados, puesto que, con la identificación de las principales variables involucradas en cada proceso, se podrá estimar con mayor exactitud los tiempos de fabricación de un proceso requerido, adicionalmente se podrán realizar proyecciones de capacidades instaladas y futuras.

#### **4.2.4 Fase 4: Análisis de capacidad efectiva**

La capacidad efectiva representa para las organizaciones la máxima tasa de producción alcanzable para manufacturar productos u ofrecer servicios en un periodo de tiempo en específico. Para ello, los componentes más significativos para tener una capacidad efectiva son los procesos eficientes y el correcto desarrollo del capital humano. Los factores que influyen en la capacidad de una organización son definidos como determinantes de la capacidad efectiva de acuerdo con Anxo. D (2003).

- a) Instalaciones: son aquellas que determinan con que facilidad de pueden realizar las actividades en una organización.
- b) Factores de producto y servicio: están relacionados con la salida, es decir considera la calidad del producto como aspecto principal, la estandarización, métodos de trabajo hasta los materiales que serán utilizados. Con una administración eficiente, se puede proyectar una mejor capacidad de diseño.
- c) Factores de proceso: procesos eficientes incrementan la calidad y la productividad, las salidas deben de ser enfocadas a la mejora, ya que se debe de eliminar cualquier clase de duplicación de trabajo, inspecciones y retrabajos.
- d) Políticas de la organización: la gestión de estrategias puede explorar o limitar el potencial de producción ya que lo anterior define el criterio de trabajo que debe de ser proyectado, es decir influye en las opciones de capacidad como restricciones de capacidad o tiempo extra en los turnos.
- e) Factores operacionales: programación de producción, problemas operativos que se originan a partir de capacidades del equipo, afectando la productividad, mecanismos de control e inventario, deben de ser analizados a detalle ya que en diversas ocasiones el resultado es el retraso en las entregas.
- f) Factores de cadena de suministro: la accesibilidad a los recursos y a los materiales, definen también el potencial de producción, la dependencia de un buen funcionamiento de proveedores es de vital importancia puesto que colaboran en la capacidad efectiva de la organización.

Una vez considerados los factores antes mencionados, se tiene que diferenciar entre la capacidad de diseño o instalada, capacidad efectiva y capacidad actual.

Al referirse a capacidad de diseño, se hace referencia a la producción teórica máxima que un sistema puede alcanzar bajo condiciones ideales.

$$\text{Capacidad de diseño} = C_{up} * U_p * H_t$$

*C<sub>up</sub>: Capacidad de una unidad de producción. Ejemplo: 50 unidades/hr*

*U<sub>p</sub>: Unidades de producción. Ejemplo: 5 equipos, 5 personas.*

*H<sub>t</sub>: Horizonte de tiempo proyectado o planeado. Ejemplo: 8 hr*

Sin embargo, la mayoría de las organizaciones utilizan sus instalaciones a una capacidad menor que la capacidad de diseño, esto permite que la organización trabaje con más eficiencia y así poder extender los recursos disponibles si tuvieran la necesidad de ello.

#### **4.2.5 Fase 5: Modelación de datos estándar**

La modelación de los datos obtenidos en estudios realizados en la organización puede generar un modelo dentro del sistema de producción siendo una herramienta útil y confiable que brinde a la organización la ejemplificación de una parte del sistema de producción.

Mason J. (1989) define que un dato estándar en una colección de valores de tiempo para las diferentes operaciones dentro de un sistema productivo, dichos valores son codificados de forma gráfica, tabular, o mediante expresiones lógicas. La información debe de ser definida correctamente y debe de ser útil. Por ello, para la elaboración de los datos estándar se deben de seguir ciertos principios básicos, el primero de ellos es que en las operaciones donde se requiera tener los datos estándar, se tengan definidos correctamente los bloques constructivos, es decir, cuáles son los elementos de trabajo, dicho de otra manera sea cual sea la técnica de medición elegida, todas los elementos de trabajo deben de ser conocidos, entendidos y consensados a manera que se pueda determinar si es propiamente un elemento perteneciente a la operación, mismos que deben de ser medidos y descritos adecuadamente.

Los datos tipo o estándar constan de un procedimiento de siete pasos, este procedimiento se considera como herramienta de modelación, sin importar cual haya sido la herramienta de medición de trabajo seleccionado (Hodson W. K, 1989).

- I. Análisis de la operación.
- II. Identificación y selección de elementos de la operación.
- III. Recolectar los tiempos estándar de los elementos seleccionados.
- IV. Selección de modelos de representación de datos estándar.

- V. Elaboración del modelo.
- VI. Instrucción para el uso del modelo de datos estándar.
- VII. Establecimiento de tolerancia.

#### **4.2.6 Fase 6: Modelos agregados en manufactura**

La última fase permitirá que se pueda conocer el comportamiento de un sistema de producción y se pueda predecir el comportamiento de un sistema controlando variables propias de cada proceso, sin necesidad de haberse implementado aún, es decir, ser una herramienta que permita a las empresas ser más competitivas a través de mejorar el tiempo de respuesta ante variaciones en la demanda y en la incursión de nuevos mercados.

## Capítulo V Implementación de la propuesta

El proceso de implementación de modelos agregados en la industria automotriz dentro de la organización fue un proceso cuyo alcance se presentó desde un inicio con el objetivo de cumplir con las necesidades.

5 fases son las que integran la herramienta de modelos agregados, para cada una de ellas se planteó una metodología como proceso fundamental a realizar, a su vez, cada una de ellas se ejecutó con el enfoque al cumplimiento de la misma fase y al cumplimiento a la necesidad existente en la organización.

### 5.1 Participantes involucrados

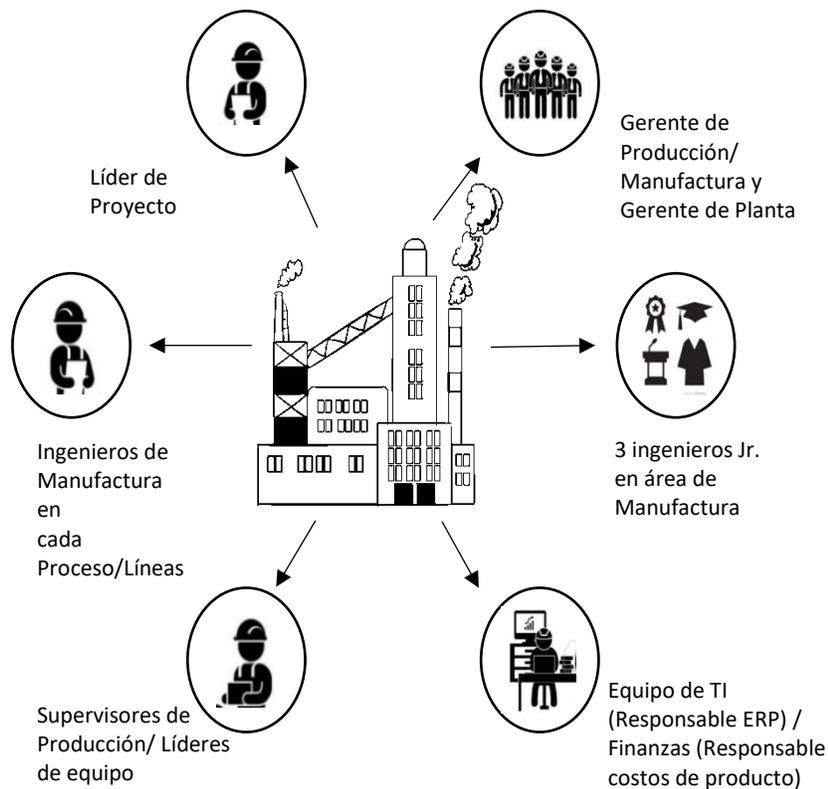


Figura 11. Participantes involucrados en la implementación de modelos agregados.

La figura 11 muestra las áreas y personas que estuvieron involucradas en la implementación de modelo agregado en la organización. Cada una de ellas desempeñó un rol importante ya que la validación y el trabajo complementario entre las áreas estaba orientado a contribuir al cumplimiento de las necesidades de la organización.

Áreas que desde su respectiva especialidad aportaron diversos enfoques para obtener un desarrollo y una correcta implementación del modelo agregado.

## 5.2 Áreas beneficiarias

- Producción: dado que el área de producción responde a los requerimientos, ejecuta la operación y agrega valor al producto, fue una de las primeras áreas que mostró interés en los resultados a obtener durante el proceso de implementación del modelo en los diferentes procesos en la organización, primordial fue el soporte y la apertura a esta nueva iniciativa, ya que al obtener información del proceso, valores de tiempos muertos, pérdida de eficiencia, disponibilidad real de los equipos, esto serviría para poder realizar la planeación en el proceso de acuerdo a los planes maestros de producción.
- Manufactura: área primordial dentro de la organización puesto que es una de las áreas que interviene en la decisión de aceptar nuevos negocios o programas para la organización, esto a través de la validación de la información estimada que es proporcionada a las *OEMs*. Posterior a ello esta área tiene la responsabilidad de llevarlo a la ejecución, adquiriendo equipos, balanceando líneas de producción y entregando líneas con cada *OEM*.
- Finanzas: es inevitable proyectar un cambio o realizarlo sin que afecte la organización de manera positiva o negativa en flujo de efectivo. El precio depende de varios aspectos, uno de ellos son las horas labor que se destinan para la fabricación de un producto. Por tal motivo el área de finanzas proyectó márgenes de ganancia e incluso detectó programas con pérdida.

## 5.3 Principales restricciones

Durante el desarrollo de la implementación existieron diversas restricciones o limitantes, desde recursos disponibles para el seguimiento de la implementación del modelo agregado, disponibilidad para de la ejecución, pruebas de implementación y seguimiento, validación y aceptación de la información.

- Mano de obra: al inicio se tuvo una participación de una línea en específico, sin embargo, no en todas las líneas se realizó con la misma aceptación de cada una de las personas, resultado que se reflejaba en la variación de las mediciones.
- Maquinaria: parte fundamental en el desarrollo del modelo era definir y consensuar los tiempos estándar en cada uno de los procesos de la organización, esto llevó a incrementar el número de observaciones y frecuencia de mediciones de la operación ya que existen diversos equipos destinados a realizar el mismo proceso, sin embargo, después de un análisis detallado en cada uno de los equipos se logró estandarizar en tiempo ciclo en ciertos

casos, en otros se logró clasificar equipos y de esta manera tener el tiempo ciclo en específico.

- Método: para el desarrollo de la primera fase del modelo agregado, es decir, análisis de la operación se llevó a cabo la revisión de los procedimientos estándar de la operación, sin embargo, dado que diversos procesos no se realizaban de acuerdo con un procedimiento estándar, fue una actividad de analizar y medir con base a un procedimiento definido a lo largo del periodo de medición y validación.

#### **5.4 Recolección de la información**

Como parte del proceso de recolección de información, el área de ingeniería fue el área que inició con el proceso de mediciones en los diferentes procesos bajo un plan detallado la organización fue segmentada en los principales procesos o procesos genéricos, por esta razón cada área fue estudiada o medida en diferentes semanas, diferentes días e incluso en diferentes turnos.

Cada una de las personas que participaron en el estudio, fueron informadas sobre cuál iba a ser la finalidad de cada estudio. Mismas que fueron seleccionadas para poder realizar la medición, ya que en algunos casos se tienen personas con habilidad alta, habilidad media y finalmente se encuentran aquellas que son relativamente nuevas en la operación.

## Capítulo VI Resultados y análisis de la información de campo

### 6.1 Naturaleza de los procesos productivos

Una parte fundamental que se realizó para poder iniciar con la implementación de la propuesta fue la definición de la naturaleza de cada uno de los procesos internos, por ello la siguiente figura nueve muestra la naturaleza de cada uno de ellos, mismos que fueron clasificados como se muestra a continuación y de acuerdo con el autor, Sheld L. Richard (1980) con el objetivo de determinar la índole de cada uno de ellos.

Dentro de la organización, se tienen 2 diferentes segmentos dedicados a la fabricación de líneas de fluidos, que son:

- 1) líneas para frenos y líneas de combustible.
- 2) líneas de recirculación y líneas de vapores, por ello en cada sector se encuentran diversos subprocesos.

Para el segmento primer segmento, los procesos para las líneas de frenos y combustible, existen 6 procesos principales y/o genéricos, lo cual significa que para la mayoría de los clientes, armadoras u *OEM* se podrían considerar como procesos primarios, sin embargo, son diferentes hasta cierto punto con respecto a otras armadoras:

- a. Proceso de corte.
- b. Formado de la tubería.
- c. Doblado de la tubería.
- d. Inserción o unión de 2 componentes.
- e. Prueba de fuga a las líneas.
- f. y el ensamble de componentes.

Mientras que, para el segundo segmento, los procesos de líneas de recirculación y vapores, 4 son los procesos principales:

- a. Corte de nylon.
- b. Termoformado del nylon.
- c. Inserción de componentes.
- d. Y prueba de fuga de las líneas.

En la figura 11 se pueden observar los 10 procesos para ambas divisiones de la organización, por su naturaleza fueron clasificados en 3 grupos: procesos automáticos, semiautomáticos y procesos manuales. Lo anterior permitió definir la correcta metodología para la medición del tiempo estándar de cada operación.

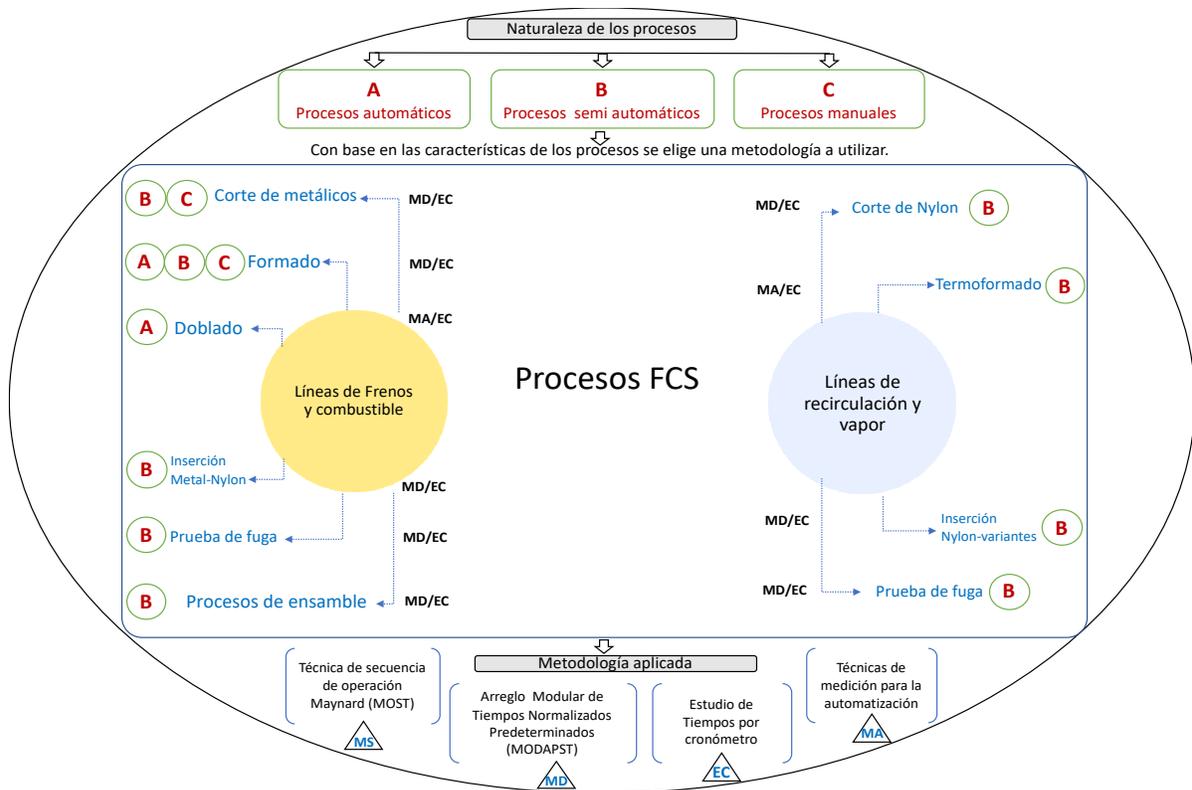
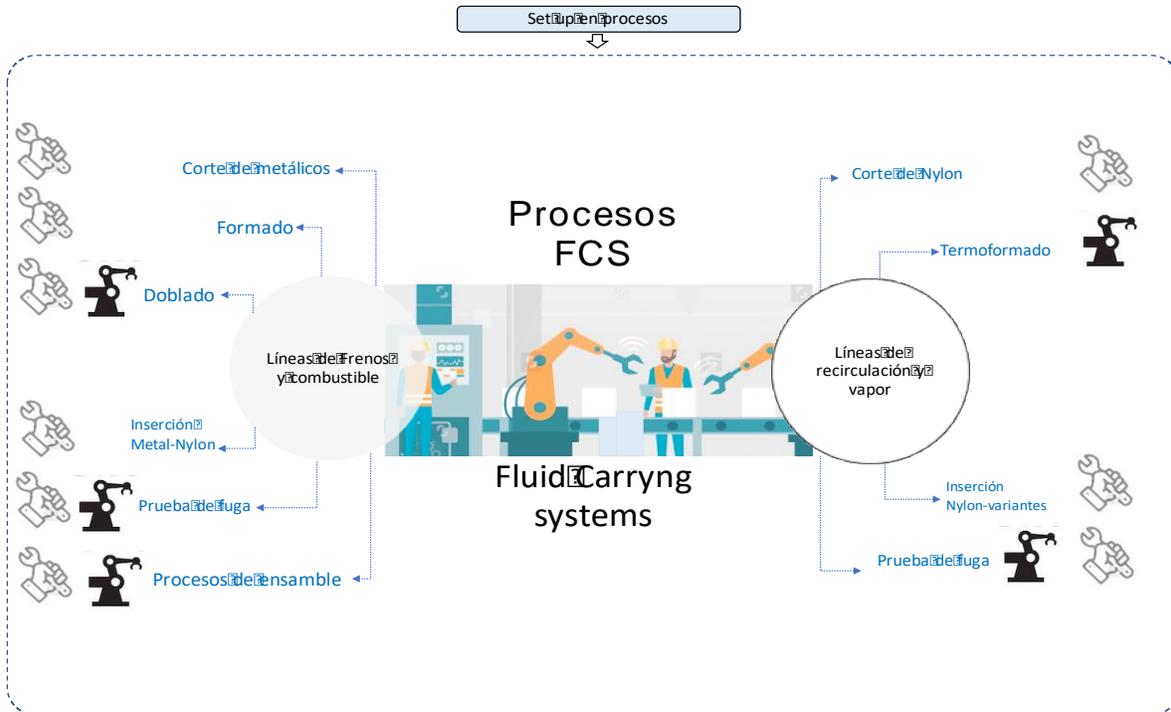


Figura 11. Naturaleza de los procesos internos de la organización, Elaboración propia

## 6.2 Tipos de set ups en los procesos productivos

Para cada uno de los procesos la participación de la persona tiene un papel fundamental por tal motivo una vez determinados los procesos para cada una de las divisiones y además considerando que existen 3 tipos de procesos: automáticos, semiautomáticos y manuales, se tienen diversos sets ups y *changeover* (cambios de herramental) en los diferentes procesos.

La figura 12 muestra la intervención o participación de la persona enfocado al *set ups* y/o *changeover* para cada uno de los procesos de la organización. Dicha figura servirá de referencia para establecer un tiempo estimado de *set up* y *changeover*, y con ello poder anexarlo a la propuesta de Modelos agregado.



Simbología:



El tiempo depende del grado de habilidad de la persona.



El tiempo de ajuste depende del equipo (Existe un tiempo de calibración del propio equipo)

Figura 12. Naturaleza de set ups/cambios en los procesos para cada una de las 2 divisiones de la organización. Elaboración propia

### 6.3 Metodologías de toma de tiempos y movimientos

Una vez identificados los principales procesos dentro de la organización, así como la naturaleza de cada uno: procesos automáticos, procesos semiautomáticos y procesos manuales, se decidió utilizar las siguientes metodologías que se muestran en la tabla 5.

Metodología/Técnica	Justificación
<p>Técnica de secuencia de operación</p> <p>Maynard (MOST)</p>	<p>Esta metodología permitirá tener una manera estandarizada de analizar una operación, con el objetivo de obtener el tiempo de ejecución de esta.</p>
<p>Arreglo Modular de estándares Tiempos</p> <p>Predeterminados (MODAPST)</p>	<p>MODAPST permitirá tener una manera estandarizada de analizar una operación, con el objetivo de obtener el tiempo de ejecución de esta.</p> <p>Será importante para operaciones que, debido a su naturaleza y la diversidad de movimientos, MODAPST permite conocer con mayor exactitud el tiempo dedicado para cada operación, a través de tablas de referencia.</p>

<b>Estudio de Tiempos por cronómetro</b>	Considerando que hay procesos manuales que son relativamente rápidos en las 2 diferentes divisiones, se optó por utilizar la técnica de estudios por cronómetro para así obtener mayor exactitud en el tiempo de ejecución.
<b>Técnicas de medición para la automatización</b>	Dada la naturaleza de los procesos que se tienen se deben de analizar desde enfoques automatizados.

Tabla 5. Metodologías para utilizar en procesos internos de la organización.

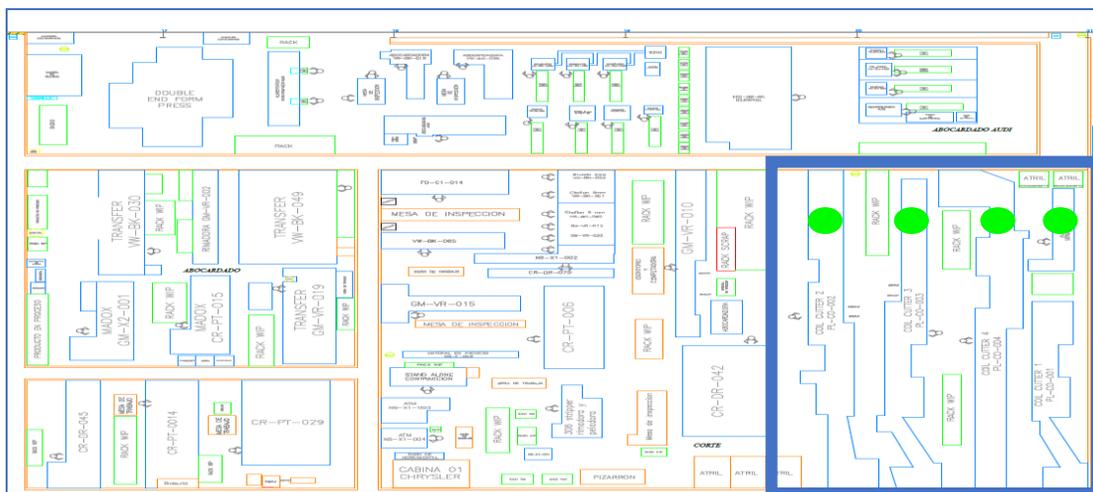
## 6.4 Asignación de tiempos estándar a operaciones

Para la división de fabricación de líneas de frenos y combustible unos de los principales procesos que tiene la organización es el área de corte, la cual es el primer proceso en la cadena de valor, después de haber recibido la materia prima.

Aunado a ello, fue el primer proceso en el cual se realizó un muestreo en los tiempos ciclos de diversos números de parte. Los resultados que se obtuvieron fue que la mayoría eran mayores, si se comparaban con respecto al tiempo ciclo asignado al inicio del lanzamiento del programa.

$$\mathbf{T}_{\text{ciclo real/ cronometrado}} > \mathbf{T}_{\text{ciclo cotización \& lanzamiento}}$$

En la siguiente figura 13 se puede identificar la primera operación dentro de la cadena de valor; cortes de metálicos, en la división de metálicos. Actualmente se encuentran en la organización 4 equipos de corte de material prima, sin embargo, para esta primera fase del análisis fue seleccionada la cortadora No. 3, la cual está dedicada al corte de materia prima para las OEMs, Volkswagen y Audi.



Distribución de equipos de corte dentro de la organización

A continuación, se muestra la imagen de la cortadora No. 3 en donde fue realizado el primer análisis.



Figura 13. Cortadora No.3

## 6.5 Documentación de la operación

### Modelo de regresión lineal

De acuerdo con Montgomery D. (2001), el análisis de regresión es una técnica estadística para investigar y modelar la relación existente entre variables, ya que esta técnica es muy versátil se encuentra en diferentes áreas de investigación. Es su estructura más simple se entiende como:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \quad (1)$$

donde:

$\beta_0$  es la ordenada al origen

$\beta_1$  es la pendiente

$x$  Variable independiente, variable predictora o regresora

$y$  Variable dependiente o variable de respuesta

A los parámetros  $\beta_0, \beta_1$  se les llama también coeficientes de regresión, donde  $\beta_1$  es el cambio de la distribución de  $y$  producido por un cambio unitario en  $x$ . Es decir, si el intervalo de los datos incluye a  $x = 0$ , entonces la ordenada al origen  $\beta_0$ , es la media de la distribución de la respuesta  $y$  cuando  $x = 0$ . Si no incluye al cero,  $\beta_0$  no tiene interpretación práctica.

Como la ecuación (1) solo tiene una variable regresora, se llama modelo de regresión lineal simple. Sin embargo, cuando existe dentro de un análisis más de un regresor, se le conoce como modelo de regresión lineal múltiple. El adjetivo lineal es para poder indicar que el modelo lineal con respecto a los parámetros  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ , y no porque  $y$  sea una funcional de las  $x$ . Adicional, es importante mencionar que estimar los parámetros desconocidos en un modelo de regresión lineal es el objetivo principal de cualquier análisis de regresión, a este proceso también se le conoce como ajuste del modelo a los datos.

Como fase inicial en un análisis de regresión lineal es la recolección, recopilación o adquisición de datos. Es decir, para tener un modelo es funcional y fidedigno a medida que se tiene la certeza de los datos de donde se basa.

Montgomery D. (2001), menciona que existen 3 métodos básicos de recolección de datos:

- Datos históricos.
- Datos obtenidos por medio de un estudio observacional.
- y datos que son obtenidos a través de un experimento diseñado.

Con base en lo anterior, los modelos de regresión lineal pueden tener diferentes aplicaciones, sin embargo, los siguientes son los más comunes:

- Descripción de datos.
- Estimación de parámetros.
- Predicción y estimación.
- Control.

En lo que respecta a los estimadores  $\beta_0, \beta_1$  existen diversos métodos de obtención de sus valores entre los que destacan, la obtención por mínimos cuadrados como se muestra en las siguientes ecuaciones, (2) y (3), para ello también se utilizan diversos softwares.

$$\hat{\beta}_0 = y + \hat{\beta}_1 x \quad (2)$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i x_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} \quad (3)$$

Otro de los elementos indispensables en el análisis de regresión líneas es el error estándar ( $\sigma^2$ ) de la regresión, este tiene también las mismas unidades que la variable de la respuesta  $y$ .

$$SS_{Res} = \sum_{i=1}^n y_i^2 = n\hat{y}^2 - \hat{\beta}_1 S_{xy} \quad (4)$$

$$\text{donde } S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i^2 - n\hat{y}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 \equiv SS_T \quad (6)$$

$$SS_{Res} = SS_T - \hat{\beta}_1 S_{xy} \quad (7)$$

$$\sigma^2 = \frac{SS_{Res}}{n-2} = MS_{Res} \quad (8)$$

Se llama coeficiente de correlación,

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_{Res}}{SS_T}$$

dado que  $SS_T$  es una medida de variabilidad de  $y$  sin considerar el de efecto de la variable regresora  $x$  y  $SS_{Res}$  es una medida de la variabilidad de  $y$  que queda después de haber considerado a  $x$ ,  $R^2$  se llama con frecuencia la proporción de la variación explicada por el regresor  $x$ . Ya que  $0 \leq SS_{Res} \leq SS_T$ , entonces  $0 \leq R^2 \leq 1$ . Por lo que los valores cercanos a 1 implican que la mayor parte de la variabilidad de  $y$  esta explicada por el modelo de regresión.

### Modelación en Matlab®

*Matlab®* como con otros programas dentro de este ámbito, se destaca por ser superior en los cálculos que involucran a matrices, mientras que algunos de los otros disponibles destacan por su cálculos simbólicos y procesos matemáticos más complicados.

Dada la practicidad de esta herramienta muchas de las actividades se realizan con él, por lo que en los últimos años se ha convertido en una herramienta estándar para científicos e ingenieros. Dada la practicidad para las operaciones con matrices y proyección de información de manera gráfica, *Matlab®* se ha utilizado para complementar los trabajos de análisis y simulación de procesos, comportamiento de variables, análisis de dispersión, para el trabajo de investigación "Modelos agregados en procesos de manufactura dentro del sector automotriz".

### **Solución de problemas de ingeniería y ciencias**

El enfoque principal para la solución de problemas técnicos es tener un enfoque consistente en los diferentes ámbitos en el que se desarrolle la problemática, para las disciplinas como la ingeniería, ciencias, programación de computadoras entre otras.

Moore H. (2007), plantea que un esquema generalizado para la solución de problemas y que es de útil para poder proyectar y solucionar la problemática a través de *Matlab®* es el que se describe a continuación:

I. Planteamiento del problema:

En esta fase generalmente se realiza algún dibujo o bosquejo, lo anterior permite que se pueda tener una comprensión clara del problema, dado que si no se tiene un correcto entendimiento no se asegura la solución.

II. Descripción de los valores ya conocidos y las salidas (Incognito):

Es decir, aquí se debe lograr que los valores de entrada (conocidos) y las salidas (incógnitas) que el sistema requiera, es importante mencionar que describan los valores de entrada y de salida, las unidades son importantes de igual manera, otro de los rasgos que caracterizan.

III. Algoritmo:

También es conocido como la prueba de escritorio, la cual está relacionada con la identificación de variables, relación de ecuaciones, con el objetivo de trabajar con una versión simplificada del problema.

IV. Resolver el problema:

Esta etapa incluye la creación de la solución con *Matlab®*.

V. Comprobación de la solución:

Finalmente, una vez obtenida la solución, algunas de las recomendaciones que hace Moore H. (2007), es cuestionar si: ¿Los resultados tiene un sentido físico?, ¿Existe alguna coincidencia en cierta medida con los cálculos de algún dato muestra?, ¿Es la respuesta que se solicitaba en realidad? y por último ¿Los gráficos son una forma útil de verificar que los cálculos son razonables?,

El anterior esquema, contiene un enfoque estructurado de solución de problemas, por lo que es común encontrar que, si un problema inicia de la narración, siguiendo este enfoque se ha comprobado que es más sencillo de resolver.

De acuerdo con *MathWorks®* (2020), *Matlab®* proporciona algunas de las siguientes ventajas:

- Un entorno de desarrollo de alta productividad, es decir, algoritmos de gran calidad en los que se puede confiar, ya que sus algoritmos han sido comprobados de manera práctica, puesto que es una herramienta utilizada por parte de científicos e ingenieros.
- Gran cantidad de aplicaciones y herramientas, esto ayuda a que se tenga optimizado la reprocesamiento y el análisis de datos eficiente, además de explorar datos, permite filtrar información, importar datos, representarlos y a su vez ajustar modelos a los datos.
- Alta precisión.
- Provee potente graficación orientada a objetos gráficos, además incorpora gráficos en sus modelos de sistemas.
- Interfaz accesible ya que permite recordar con facilidad las funciones para las áreas enfocadas de ingeniería y ciencias.

## 6.6 Implementación del modelo agregado a procesos principales

### Modelación a través de *Matlab®*

Para la primera modelación en la herramienta de *Matlab®* se decidió utilizar la herramienta de *Curve fitting* (Ajuste de curvas), esta herramienta dentro de *Matlab®* proporciona una aplicación y funciones para el ajuste de curvas, así mismo también genera una superficie a los datos pertenecientes al estudio.

*Curve fitting* también permite que una vez que los datos han sido medidos, tabulados, ayuda a determinar una función, es decir una curva que "mejor" describa la relación entre dos variables o más variables, es decir, una vez encontrada la mejor relación entre 2 o más variables se podrían proyectar un comportamiento futuro entre las variables seleccionadas tomando en consideración una regresión lineal.

Mejor criterio de ajuste (*best fit*)

Dado que los datos que generan ruido no se alinean en una sola línea, puesto que existe una discrepancia entre cada punto y la línea ajustada a los datos.

Adicional, el error residual se expresa de la siguiente manera

$$e = \hat{y} - a_0 - a_1x$$

Por ello con el objetivo de minimizar la medida de este residuo se puede realizar lo siguiente:

- \* Cancelar los errores negativos y positivos
- \* Ajuste no único

Para minimizar la suma de los valores absolutos de los residuos

- \* Se eliminó el efecto del signo de error, sin embargo, aún no es un ajuste único.

Maximizar el error máximo; criterio mínimo-máximo

- \* Influencia excesiva dada a los puntos periférico-únicos.

Mínimos cuadrados lineales

- \* Ensamble normal de matrices de ecuaciones
- \* Resolver de manera normal las ecuaciones del vector de coeficientes.

En análisis de *curve fitting* Matlab® existe el término conocido como *Goodness of fit* (Bondad del ajuste) para ellos es importante cuestionarse ¿Qué tan bien se ajusta la función a los datos?, ¿Es el mejor ajuste lineal?; posiblemente ¿Un polinomio cuadrático de orden superior u otra función no lineal?, por lo anterior como sería una manera de cuantificar la bondad de un ajuste.

Para ello se podría cuantificar la dispersión de los datos sobre la media antes de la regresión, es decir

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 = S_t$$

Después de la regresión, se cuantifica la propagación de los datos sobre la línea de regresión y cuantifica la extensión sobre la línea de mejor ajuste (curva), de igual manera, la propagación que resulta después de que la tendencia se explica.

$$\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - a_0 - a_1 x_i)^2 = S_r$$

Por otra parte, la siguiente expresión representa la reducción en la difusión de datos después de que la regresión explica la tendencia subyacente.

$$S_r - S_t$$

Una de las primeras actividades que se realizó fue el desglose de cada una de las actividades complementarias que se realizan en la operación del proceso de corte.

El siguiente resumen, tabla 6 considera los eventos que generalmente suceden en el transcurso de un día y se complementó con el histórico de eventos que suceden a lo largo de un turno. Se logró obtener el número de eventos, así como el tiempo de duración a través de los formatos de control de producción que cada uno del personal técnico realiza diariamente y turno por turno.

Adicionalmente parte de la verificación de la información fue capturada directamente de la operación; para ello se hicieron las mediciones en turnos diferentes con el objetivo de determinar el tiempo de duración promedio.

<b>Proceso: Corte Metálicos</b>			
<b>ACTIVIDADES COMPLEMENTARIAS * TURNO</b>			
Descripción	Veces por turno	Duración [min]	Total [min]
A) Total de cambios de número de parte por turno (No. Veces promedio)	7	3	21
B) Cambio de Atril (Materia prima) * (No. Veces promedio)	2	12	24
C) Verificar que en el cambio de atril no exista variación de longitud	2	1	2
D) Hacer uniones las cuales impiden el corte continuo (No. De veces por atril, No. veces promedio)	4	4	16
E) Paros por uniones que contiene el atril desde el proveedor (No. Veces promedio)	15	0.5	7.5
F) Reporte de producción/documentación	7	3	21
G) Ajuste de material enredado (No. De veces en base en histórico)	2	5	10
		TOTAL [min]	101.5
		TOTAL [hr]	1.69

Tabla 6. Desglose de actividades complementarias

Por otra parte, en la tabla 7 se describen las actividades que son estandarizadas y que cada persona en la operación realiza al momento de iniciar con la fabricación de un número de parte en el equipo.

## Proceso: Corte Metálicos

**ACTIVIDADES**

Descripción	Veces por turno	Duración [min]	Total [min]
A) Realizar la captura de longitud en el equipo y el hacer reseteo	7	2	14
B) Ajuste en tren de enderezado	2	10	20
C) Liberación de primera pza OK	7	2	14
*Rectitud			
*Corte no ovalado			
*No marcas en superficie			
*Longitud +-2mm			
1) Inicia el proceso de corte automático	El tiempo de corte esta relacionada con la longitud a cortar		
2) Comprobación de longitud (Depende de la longitud de corte, simultánea al corte)	Actividad simultanea al corte		
3) Atado de material/acomodo	7	0.17	1.17
4) Colocación de material en rack	7	0.20	1.40
5) Reportaje de producción (Cada cambio de No. De parte)	7	3	21.00
6) Trazabilidad (Cada cambio de No. De parte)	7	3	21.00
		<b>TOTAL [min]</b>	92.57
		<b>TOTAL [hr]</b>	1.54

Tabla 7. Desglose de actividades estandarizadas realizadas para cambio de número de parte

Como se puede observar en la tabla 8, al realizar el corte de materia prima con una longitud mayor a 3 metros (3000 mm), se tiene variación en el proceso lo cual origina que el técnico deba realizar un reproceso, mismo que consiste en parar el equipo para realizar el reproceso y posteriormente reiniciar. Como se puede observar dado el muestreo realizado el equipo para durante 1.04 minutos por cada 100 piezas cortadas para poder realizar el reproceso.

Mientras que en la tabla 9, se puede observar que, si el impacto se analiza considerando el número de piezas involucradas, se resume que de cada 400 piezas manufacturadas por hora 29.4 piezas se deben de retrabajar, lo que representan 6% de lo manufacturado cada hora.

Es importante mencionar que existe un plan de producción el cual implica tener una mezcla en específico de la demanda de los números de parte manufacturados, por lo que no siempre se manufacturan los mismos números de parte. Por ello la tabla 10, muestra que de un total de 45 números destinados a manufacturarse en la cortadora #3, únicamente 20 son los que tienen una longitud mayor a 3 metros (3000 mm) lo que representa un 44% la probabilidad de tener que cortar números de parte mayores a 3 metros en un día de producción normal.

Por otra parte, en una hora el equipo puede cortar 490 piezas, de las cuales, en el muestreo realizado de 100 piezas, a 6 piezas se les debe de realizar el reproceso, es decir en el transcurso de la hora (490 piezas) se podrían generar 29.4 piezas. Sin embargo, como se retrabajan únicamente las

piezas mayores a 3 metros, lo que es un 44 % de probabilidad de que se tenga que retrabajar. Es decir, de las 29.4 piezas se reducen a 13 piezas.

Para obtener el tiempo de retrabajo se realizó un muestreo, para ello se tomó una muestra de 6 piezas y se midió el tiempo requerido para poder realizarlo, una vez obtenido este valor se obtuvo la relación de cuánto tiempo sería necesario para poder retrabajar las 13 piezas, lo anterior se muestra en la tabla 11.

Muestreo de Re proceso			
6	→No. Piezas para reproceso generadas:	100	→Piezas cortadas con una longitud >3000 mm
1.04	→Tiempo para reproceso [min] por cada 6 piezas	62.4	→Segundos totales para 6 piezas

Tabla 8. Resultado de reproceso en muestreo

No. Piezas a re trabajar si se considera un # piezas estándar *hr			
6	→ No. Piezas para reproceso de:	100	→ No. De piezas cortadas
29.4	→ No. Piezas para reproceso	490	→ No. De piezas de corte

Tabla 9. Impacto en piezas realizadas en un intervalo de una hora

Cantidad de No. de Parte para Cortadora #3	
45	Total
20	> 3000 [mm]
44%	Probabilidad de cortar de long > 3000 mm

Tabla 10. Probabilidad de cortar números de parte mayores a 3000 mm en el equipo

Por lo tanto			
29.4	Piezas con retrabajo	100%	%
13	Piezas con retrabajo	44%	Probabilidad de cortar de long> 3000 mm

6	Piezas para retrabajo de:	1.04	Tiempo para retrabajar [min] 6 piezas
13	Probabilidad de cortar de long> 3000 mm	2.25	Tiempo para retrabajar [min] 13 piezas

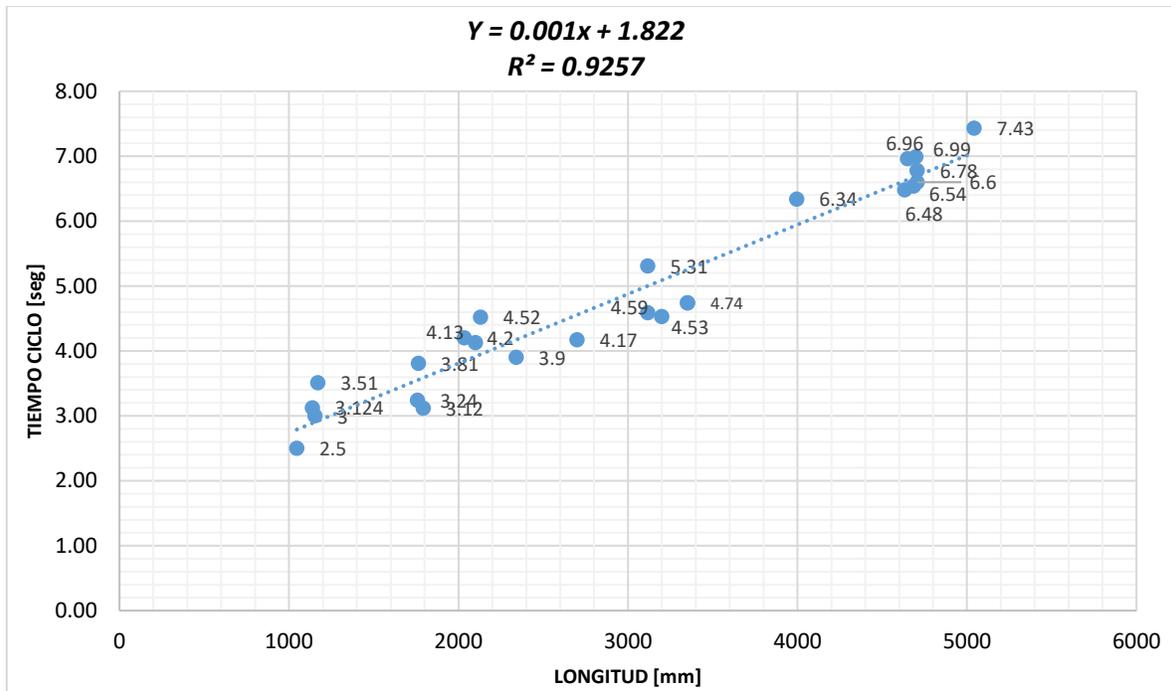
Tabla 11. Resumen de impacto por reprocesos

Siendo el proceso de corte uno de los principales procesos de la organización, la tabla 14 muestra el resumen de los resultados de los análisis realizados para cada una de las cortadoras en el área de corte en la división de metálicos.

### Tiempos Estándar en Cortadora (Coil Cutter) 2

<b>Diámetro</b> 3/16" ,3/16 " Galfan	$Y=$	<b>0.001</b>	$X(\text{Longitud})$	$+$	<b>1.81</b>
	$r^2=$	<b>0.9257</b>	(Coeficiente de correlación)		
	LONGITUD (mm)		TIEMPO CICLO	Tiempo Ciclo (+) Actividades Complementarias	Horas necesarias para poder realizar 1000 piezas
			1.822	2.660	0.738
<b>Diámetro</b> 1/4" , 5/16"	$Y=$	<b>0.001</b>	$X(\text{Longitud})$	$+$	<b>1.81</b>
	$r^2=$	<b>0.9257</b>	(Coeficiente de correlación)		
	LONGITUD (mm)		TIEMPO CICLO	Tiempo Ciclo (+) Actividades Complementarias	Horas necesarias para poder realizar 1000 piezas
			1.81	2.642	0.734
<b>Diámetro</b> 10 mm, 1/2", 3/8", 3/8 " Galfan	$Y=$	<b>0.001</b>	$X(\text{Longitud})$	$+$	<b>1.81</b>
	$r^2=$	<b>0.9257</b>	(Coeficiente de correlación)		
	LONGITUD (mm)		TIEMPO CICLO	Tiempo Ciclo (+) Actividades Complementarias	Horas necesarias para poder realizar 1000 piezas
			1.815	2.649	0.736

Tabla 12. Fórmulas obtenidas para obtener el tiempo estándar de acuerdo a cada diámetro definido en el equipo #2

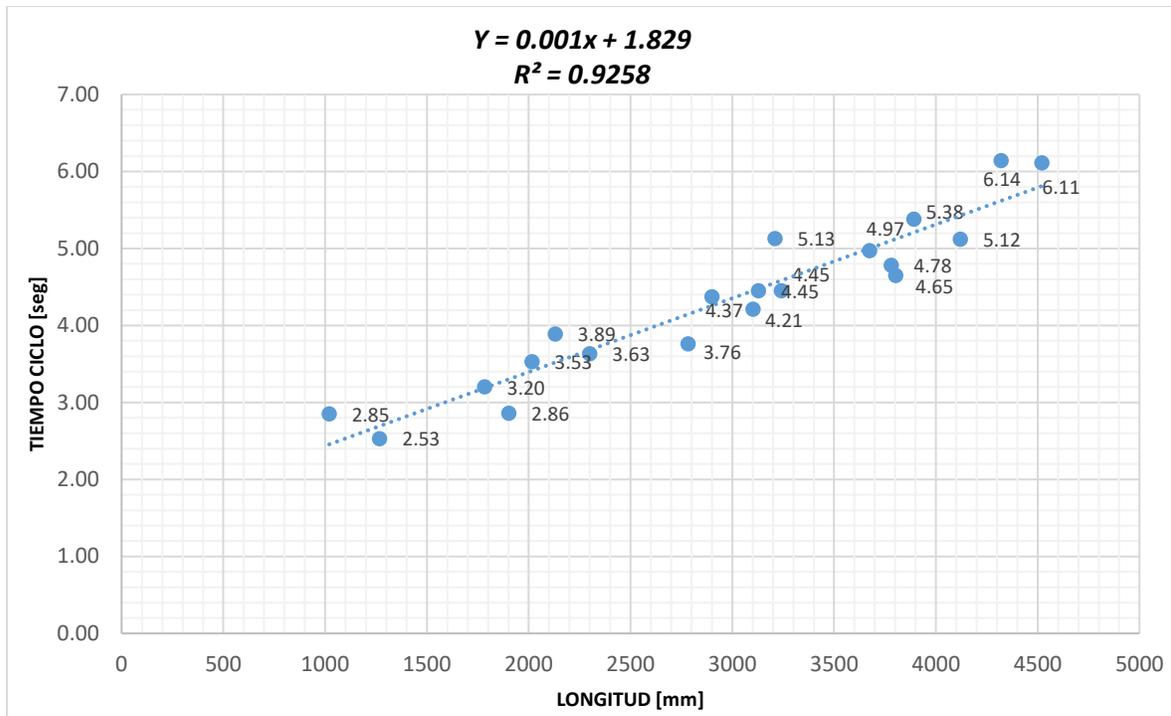


Gráfica 1. Regresión lineal proceso de corte, Cortadora No. 2 (Tiempo Ciclo [seg] VS Longitud [mm])

### Tiempos Estándar en Cortadora (Coil Cutter 1, 3 & 4)

<b>Diámetro 3/16 "</b>	<b>Y=</b>	<b>0.001</b>	<b>X(Longitud)</b>	<b>+</b>	<b>1.83</b>
	<b>r²=</b>	<b>0.9258</b>	<b>(Coeficiente de correlación)</b>		
	<b>LONGITUD (mm)</b>	<b>TIEMPO CICLO</b>	<b>Tiempo Ciclo (+) Actividades Complementarias</b>	<b>Horas necesarias para poder realizar 1000 piezas</b>	
			1.829	2.286	0.635

Tabla 13. Fórmula obtenida para obtener el tiempo estándar en los equipos #1,2, y 3.



Gráfica 2. Regresión lineal proceso de corte, Cortadora No. 1,2, & 3 (Tiempo Ciclo [seg] VS Longitud [mm])

### Corte Tiger

Cliente/Diámetro	Tiempo estándar [seg/pieza]	Horas necesarias para poder realizar 1000 piezas
Audi 3/16"	4.5	1.25
Audi 8 mm	6	1.67
VW 6 mm	6	1.67

Tabla 14. Resultados de análisis de cortadoras, Diámetro de material VS Tiempo ciclo [mm]

## 6.7 Modelación de resultados/ Datos estándar

Para la modelación de tiempos estándar existen diferentes herramientas que pueden utilizarse para poder tener una base en la determinación del tiempo estándar posterior al análisis y medición de cada operación dentro de un sistema de producción.

De acuerdo a la naturaleza de cada operación como se puede ver en la figura 15 para la determinación del tiempo estándar en el proceso de doblado automático de alto volumen se utilizó el análisis de regresión lineal, el cual consiste en buscar la relación entre dos variables que influyen en un valor esperado, traducido a la información del proceso de doblado automático, las variables que se proyectaron fueron las características de cada producto, es decir, el número de dobleces que tiene cada producto y el tiempo ciclo actual del proceso de doblado.

Para la obtención de la expresión de regresión lineal  $y = \beta_0 + \beta_1x$  se realizaron mediciones de tiempos ciclo en todos los equipos de doblado automático que se tienen en la división de metálicos, obteniendo como resultado la siguiente expresión lógica. Para mejores resultados en la estimación de tiempos ciclos para futuros programas se planteó tener las mediciones suficientes con el objetivo de tener valores que significaran en mayor proporción el comportamiento del sistema, es decir entre más cercano sea el coeficiente de correlación a la unidad, permitiría tener estimaciones con mayor grado de certeza o exactitud, lo que significaría tener poca variación al momento de introducir el número de curvas o dobleces que tendría un nuevo número de parte para una nueva plataforma o programa, como se muestra en la figura 12 que muestra la regresión lineal proceso de doblado automático, lo que de igual manera facilitaría a las áreas de estimación ya que se tendría un tiempo ciclo más acertado.

Es importante mencionar que para el lanzamiento de una nueva plataforma o programa se debe de tomar en cuenta el tiempo ciclo por pieza manufacturada para poder obtener posteriormente el *RUN 3* es decir, en cuantas horas se pueden manufacturar 1000 piezas. Esta base de *RUN 3* se considera para poder medir la eficiencia de las celdas de producción.

Colocar número de curvas del número de parte curvas/dobleces

Ingresa valores de fórmula	<b>Primer valor</b>	1.15	<b>Segundo valor</b>	5.29
<b>No. de curvas (x)</b>	→ x	<b>Tiempo ciclo (y)</b>		<b>Seg (tiempo aproximado)</b>
<b>TIEMPO CICLO + % Actividades Complementarias (18% del tiempo Ciclo Obtenido) [seg/pieza]</b>				20
<b>Run 3</b>				<b>5.51</b>

Figura 15. Regresión lineal proceso de doblado automático

Durante el proceso de determinación del tiempo estándar de cada número de parte, se realizó el análisis de las actividades complementarias que estaban involucradas en el proceso de doblado, ya que en algunos números de parte existían actividades adicionales por lo que no únicamente era el proceso de doblado automático.

El resultado del análisis de cada número de parte fue que, para poder determinar la capacidad de cada equipo, era necesario anexar 18% más al valor del tiempo ciclo de cada número de parte, el

cual se validó para poder proyectar la capacidad del equipo, mismo que significaba el tiempo dedicado para realizar aquellas actividades adicionales al proceso de doblado automático.

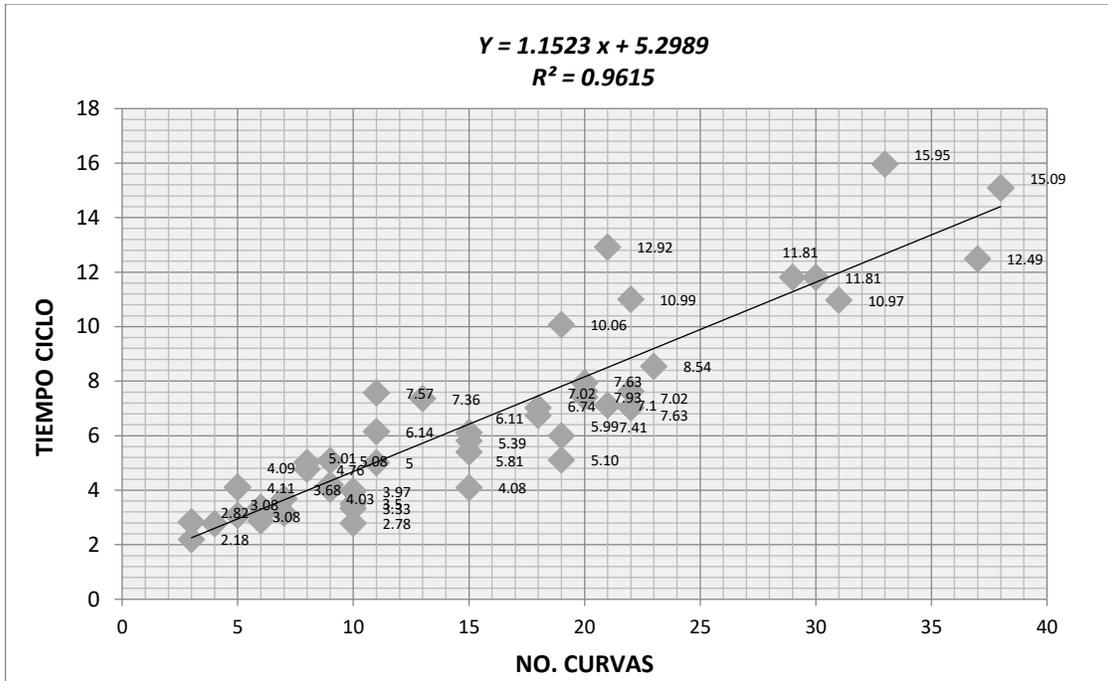
Como organización a través del sistema *ERP* (*Enterprise Resource Planning*- Sistema de planificación de recursos empresariales) para cada uno de los productos se le asigna un tiempo estándar basado en una referencia Run 3, misma referencia que es definida como el tiempo necesario para realizar 1000 piezas en donde el resultado es expresado en horas necesarias, como se muestra en el siguiente ejemplo:

<b>Producto:</b>	<b>A</b>	
<b>Tiempo estándar:</b>	25 [seg/pieza]	
<b>Run 3</b>		
1 pieza	25 [seg/pieza]	
1,000 piezas	25,000 [seg]	
<b>Para obtener el resultado expresado en horas=</b>	(25,000 [seg])	$\frac{(1 \text{ hora})}{(3,600 \text{ seg})} = 6.94 \text{ horas}$

Es decir, en el ejemplo anterior el valor de 6.94 horas se puede utilizar de diferentes maneras puesto que con el mismo se puede conocer el personal necesario para una línea de producción, la eficiencia de una línea o de un segmento interno, celda o el *OEE* (*Overall Equipment Effectiveness*-Efectividad total de los equipos) entre otras.

Por esta razón la manera correcta de asignar los tiempos estándar a las operaciones es de vital importancia para la organización e incluso por el incremento en el tiempo estándar de las operaciones tiene un impacto financiero, reflejado en la labor de la operación, costo del producto y/o margen de ganancia.

En la figura 16 se muestran las actividades que se realizan en el proceso de doblado automático, siendo automático el proceso, es decir, la intervención humana es mínima, se evaluó que operaciones se podrían realizar simultáneamente durante el proceso de doblado y cuáles no, esto ayuda a decidir si para proyectos o programas nuevos estas actividades deberían tener asignado un tiempo ciclo o no.



Gráfica 3. Regresión lineal Número de dobleces (curvas de cada No. De parte VS Tiempo ciclo)

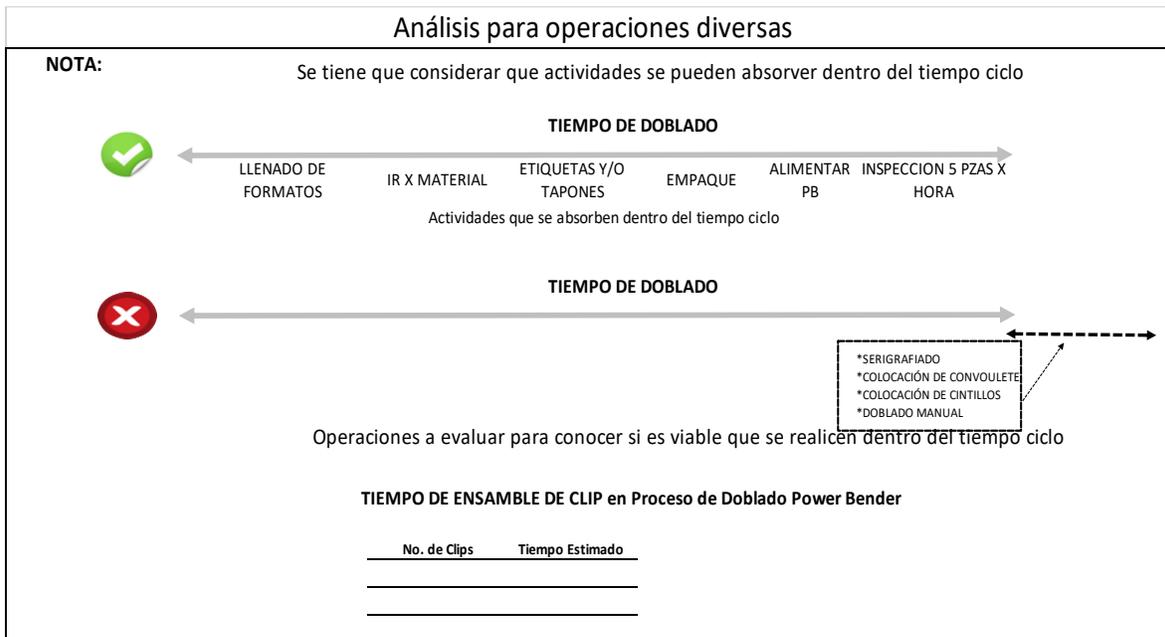


Figura 16. Análisis de operaciones diversas dentro del proceso de doblado automático

### Modelado proceso de Doblado CNC (Control numérico por computadora) Volumen Medio

Para el proceso de doblado de líneas de frenos y combustible se utilizó también el modelo de regresión lineal. Para este modelado se realizó el estudio de tiempos en los equipos de doblado en CNC en sus diversas variantes, entre los que se encuentran CNC de doble cabezal y de cabezal

sencillo, los cuales están dedicados al doblado de las líneas de frenos y combustible, la base para utilizar cada equipo para líneas de frenos y combustible menores a 1 metro, se manufacturan en *CNC* de cabezal sencillo y para longitudes mayores a 1 metro se utiliza *CNC* de doble cabezal.

La figura 17. muestra la distribución de los equipos dobladores en la organización.

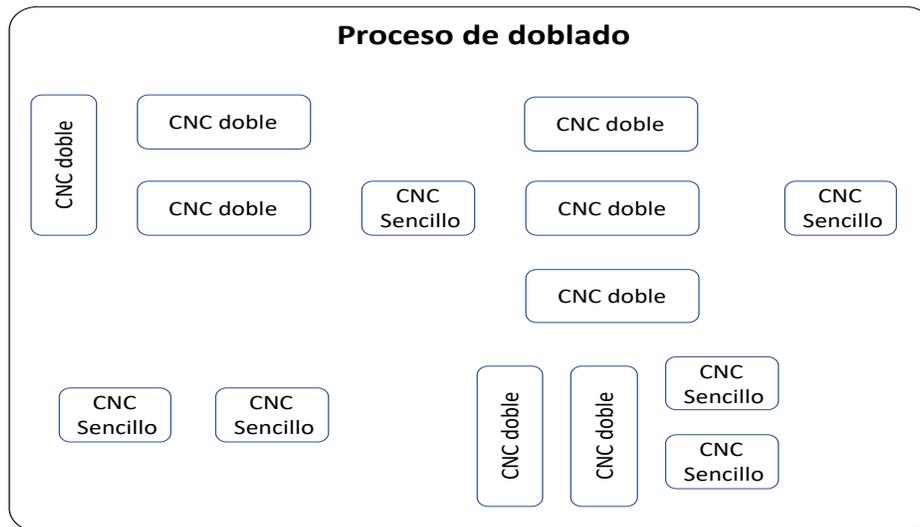
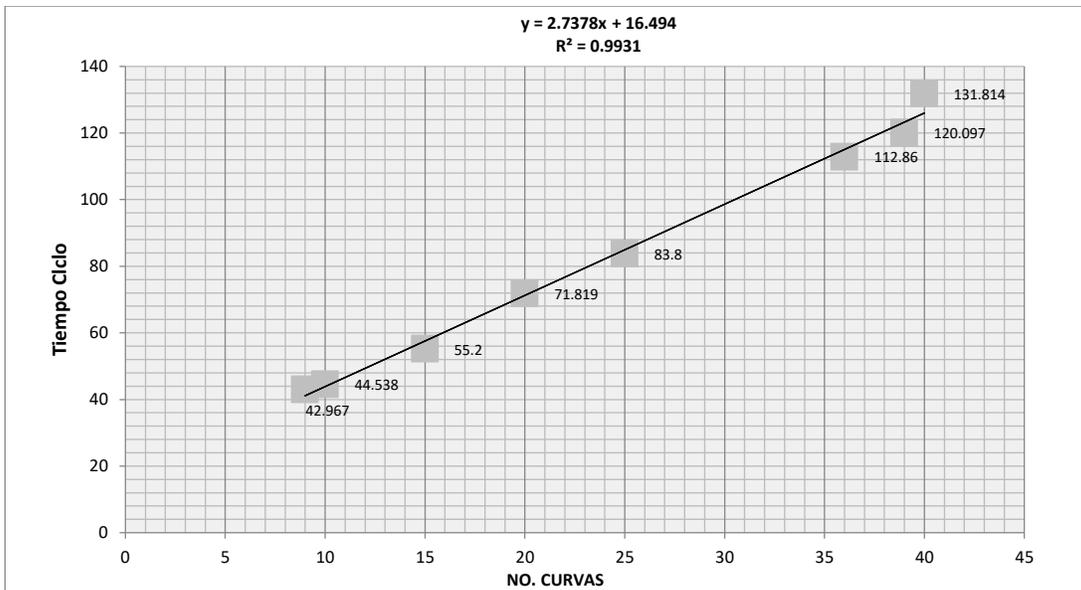


Figura 17. Distribución de equipos dobladores de *CNC*

La siguiente regresión lineal muestra el resultado de las mediciones realizadas en los diferentes productos que se manufacturan en los equipos de doble cabezal. Posterior a las mediciones de cada uno de los productos, se buscó representar las mediciones a través de un análisis de regresión lineal el cual está basado en determinar la relación existente entre las dos variables que están involucradas en el proceso de doblado.

Al igual que el modelado para el proceso de doblado automático evaluado anteriormente, para el doblado en *CNC* de cabezal doble se consideraron únicamente las variables como: número de dobleces existentes en el producto, de tal manera que, para poder generar una estimación, únicamente esta variable es la necesaria para determinar el tiempo ciclo y basado en los resultados obtenidos las variables como diámetro de la tubería y longitud de las líneas de frenos y combustible no son variables representativas para el análisis.



Gráfica 4. Regresión lineal que representa el tiempo ciclo estimado para el proceso de doblado en equipo CNC de cabezal sencillo

De la misma la manera la gráfica 4 muestra un comportamiento lineal entre las variables analizadas, es decir, a determinado número de curvas le corresponde un tiempo ciclo definido como se muestra en figura 18.

Estas mismas bases fueron planeadas para los números de parte producidos en los equipos de doblado CNC cabezal sencillo.

Colocar número de curvas del número de parte curvas/dobles

<b>Ingresar valores de fórmula</b>	<b>Primer valor</b>	2.737	<b>Segundo valor</b>	16.494
<b>No. de curvas (x)</b>	x	<b>Tiempo ciclo (y)</b>		Seg (tiempo aproximado)
<b>TIEMPO CICLO + % Actividades Complementarias (18% del tiempo Ciclo Obtenido) [seg/pza.]</b>				
Run 3				

Figura 18. Regresión lineal proceso de doblado automático CNC Cabezal sencillo

Como se comentó anteriormente el proceso de doblado en CNC de cabezal sencillo y doble está destinado para volúmenes de mediano y bajo requerimiento diario para cada uno de los números de parte que pertenecen a los diversos programas de armadoras u OEM.

Otro de los equipos que está destinado a doblar líneas de frenos es conocido como *CNC Multicabezal* el cual tiene dos estaciones por lo que, realizando una comparación entre el CNC de doble cabezal, el *CNC Multicabezal* es más rápido entre 30-40%.

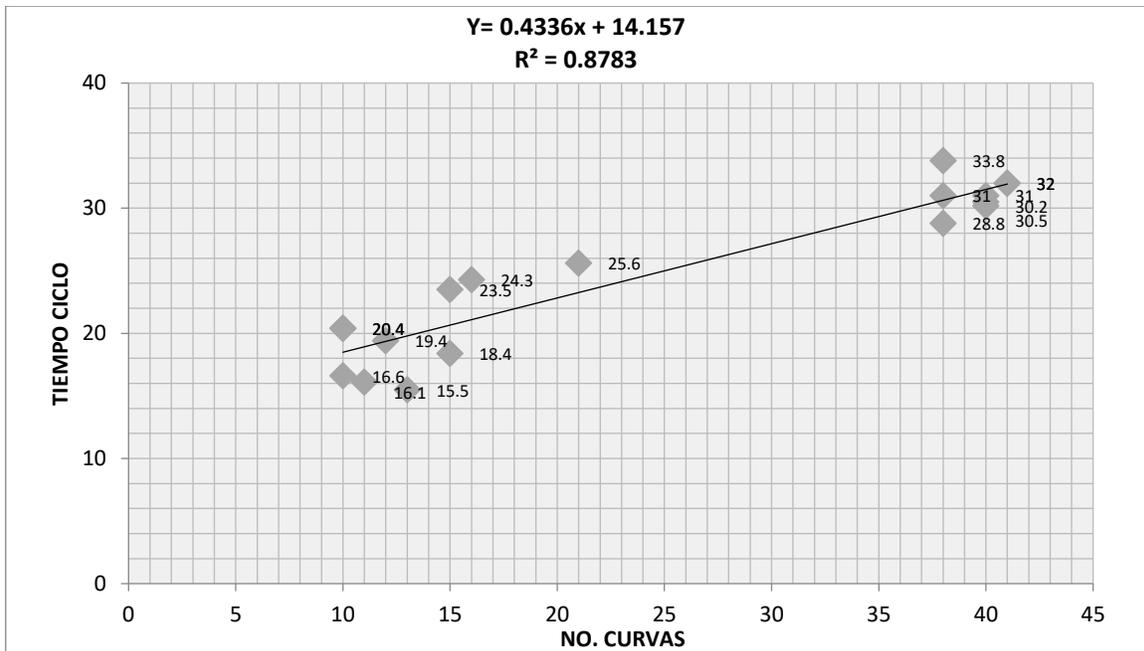
Principios de funcionamiento *CNC Multicabezal*.

- 1- Previo al doblado en el equipo, el área de ingeniería es la encargada de realizar los estudios de factibilidad en el equipo, es decir, cada uno de los números de parte son programados para asegurar que el tiempo ciclo del proceso de doblado sea más cercano al estimado para el programa.
- 2- A pesar de que existe en el software del programa un tiempo ciclo estimado al mismo tiempo que identifica la mejor manera de balancear ambas estaciones, este tiempo la mayoría de las ocasiones por la naturaleza del doblado cambia, en algunas ocasiones cuando existe vibraciones en el material se deben de ajustar ciertos parámetros como velocidad de doblado, definir pausas a manera de poder disminuir cualquier riesgo en el equipo siempre y cuando se asegure la mayor repetibilidad en la ruta o forma del número de parte.
- 3- Una vez realizado el paso 2, todos los números de parte se entregan al área de producción, el área cuenta con personal técnico para realizar los ajustes necesarios y poder generar el doblado de una manera correcta.
- 4- Una vez que el número de parte es ajustado en el equipo, se procede con el doblado del requerimiento de cada uno de los números destinados a doblarse en el equipo basado en el programa de producción.

Dado la naturaleza de los números de parte, el modelo de las mediciones se representó de igual manera como un modelo de regresión lineal (figura 19 y gráfica 5).

<div style="border: 1px solid black; background-color: #90EE90; border-radius: 10px; padding: 5px; display: inline-block;">Colocar número de curvas del número de parte</div>				
<b>Ingresar valores de fórmula</b>	<b>Primer valor</b>	0.433	<b>Segundo valor</b>	14.157
<b>No. de curvas (x)</b>	<b>Tiempo ciclo (y)</b>			
<b>TIEMPO CICLO</b>				seg/pza
			<b>Run 3</b>	<b>3.93</b>

Figura 19. Regresión lineal proceso de doblado automático *CNC Multicabezal*



Gráfica 5. Regresión lineal que representa el tiempo ciclo estimado para el proceso de doblado en equipo CNC Multicabezal

**Análisis en procesos de líneas de recirculación y vapores.**

En la división de plásticos en donde se realizan las líneas de recirculación y vapores, se realizó el proceso de modelación en los 2 primeros procesos, el primero está dedicado al corte de la resina o plástico y el segundo está dedicado al termoformado de la misma.

Considerando que para los procesos de metálicos se utilizaron regresiones lineales para las diferentes variantes de doblado, para poder utilizar la expresión lógica de regresión lineal para este proceso únicamente se debe de considerar la longitud del nylon en milímetros (mm) para cada uno de los números de parte (figura 19 y gráfica 6).

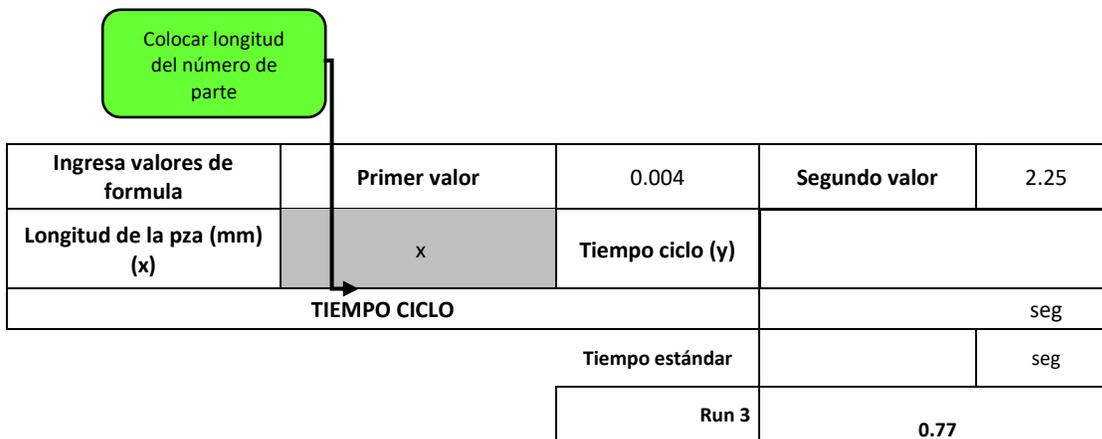


Figura 19. Regresión lineal proceso de Corte de resina (Nylon) división de metálicos

Sin embargo, dentro del proceso existen actividades complementarias que implican que se tenga que preparar el material, realizar un acomodo, antes de colocarlo en la posición para que el segundo proceso, es decir, que el Termoformado, pueda tomarlo.

Para determinar el tiempo dedicado a las operaciones anteriores se realizaron diversas mediciones en los 4 equipos existentes, conocidas como máquinas cortadoras "Marken". La figura 20 muestra que, al tiempo asignado a la operación de corte, obtenido a través de la regresión lineal se le debe de anexar 0.08 seg/pza. por el tiempo de recorrido de la materia prima en el alimentador y 0.43 seg/pza. el cual será asignado ya que después de cortar cada número de parte, se coloca una liga como parte del procedimiento, se coloca una bolsa plástica y se coloca en el contenedor correspondiente.

Por ejemplo, si un número de parte tiene un tiempo ciclo de corte de 6 seg/pza. y se consideran las actividades anteriormente mencionadas el tiempo estándar sería de 6.51 seg/ pza., es decir:

$$(6 \text{ seg/pieza}) + (0.08 \text{ seg/pieza}) + (0.43 \text{ seg/pieza}) = 6.51 \text{ se/ pieza}$$

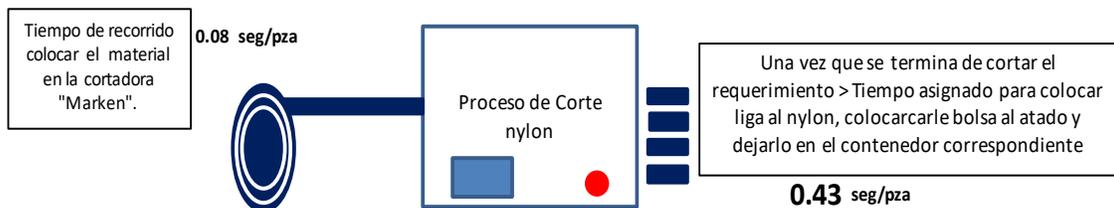
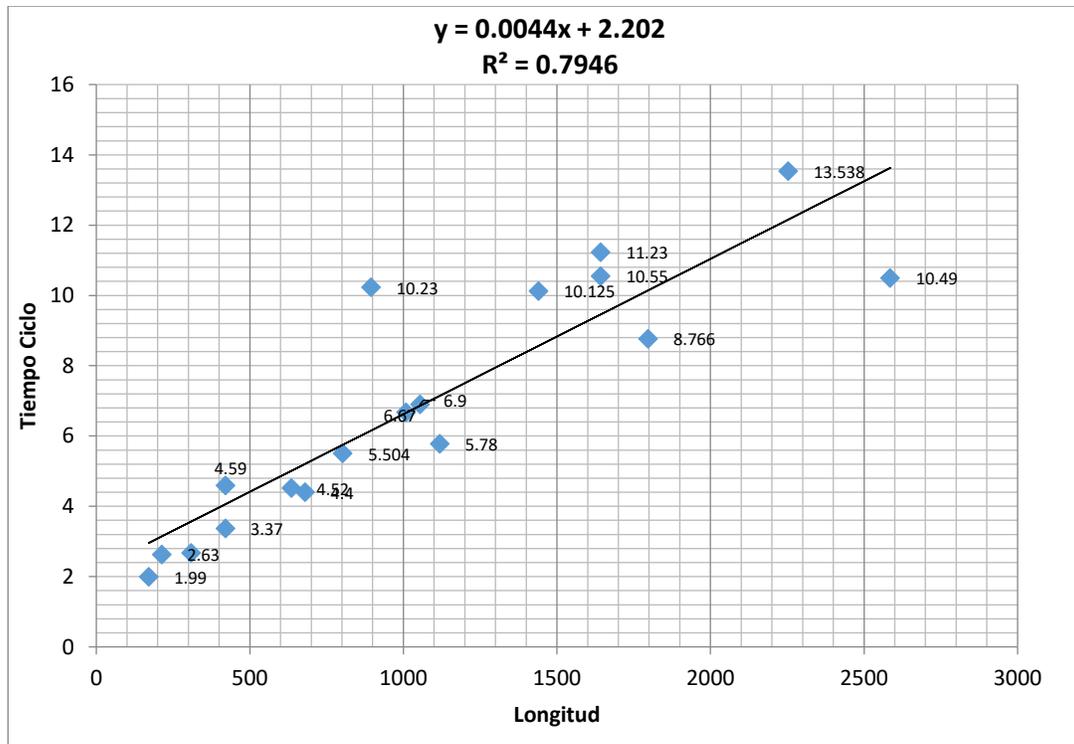


Figura 20. Tiempo de actividades complementarias



Gráfica 6. Regresión lineal que representa el tiempo ciclo estimado para el proceso de corte de nylon

Por otra parte, en el área existen 5 hornos que están asignados a realizar el proceso de termoformado, la distribución de estos se muestra en la figura 21.

El proceso de termoformado de las líneas de vapores y recirculación después del área de corte es el siguiente:

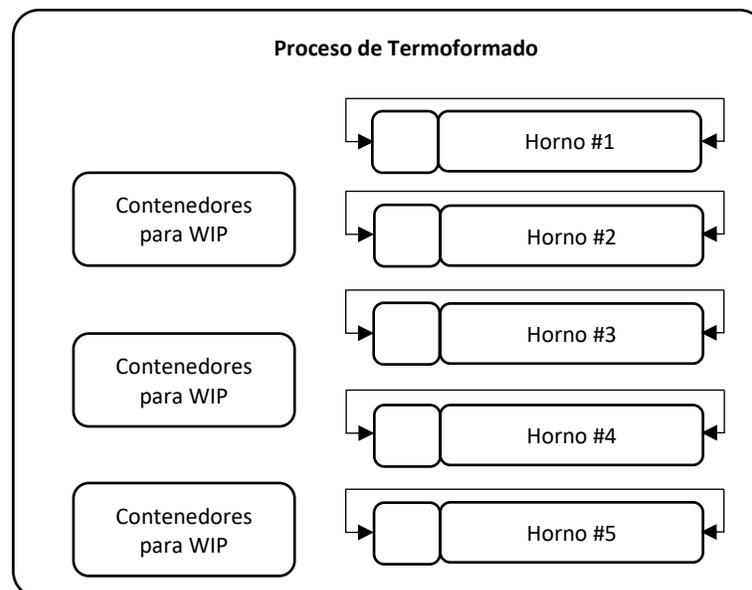


Figura 21. Distribución del área de termoformado.

Una vez que un nylon llega cortado a una longitud específica, el siguiente proceso es la operación de termoformado, existen diversos tipos de materiales de los que se compone cada nylon, ya asignado cada número de parte a un horno esté material se debe termoformar, la operación consiste en colocar un nylon en un molde, una vez colocado se introduce en el horno hasta que se obtenga una pieza con la forma o ruta esperada sin marcas externas o defectos de relajación.

- A. Cada horno tiene las siguientes características:
  - I. Tiene una velocidad en la cadena o banda transportadora.
  - II. Trabaja a cierta temperatura puesto que cada horno tiene asignado diferente tipo de material que se manufactura.
  - III. Tiene diferente capacidad de almacenamiento, considerando que cada uno de ellos puede almacenar estructuras conocidas como "*frames*", mismos que tienen diferentes moldes para termoformar cada una de las piezas con diferente estructura, la capacidad de cada horno cambia ya que cada *frame* tiene diferentes longitudes que van desde: CH:1 m, MED: 1.25 o 1.50 m, GRA. 2.5 m.
- B. Cada programa de las diferentes armadoras se caracteriza por tener determinada cantidad de moldes o "cavidades" mismas que se utilizan para realizar el proceso termoformado del número de parte.
- C. Cada *frame* es configurado para que se encuentran la mayor cantidad de cavidades posible, teniendo en consideración que el proceso es manual, el cual debe de ser lo más ergonómico posible, es decir, cada nylon ya cortado a determinada longitud se introduce en un molde que sigue determinada estructura, una vez que un *frame* tiene todas las cavidades con un nylon, el *frame* está preparado para introducirlo en cada horno.
- D. Cada *frame* tarda en promedio 12, 15, 14, 18 min desde que entra hasta que sale del horno, después del último proceso que es una fase de enfriamiento la cual consiste en rociar con agua el nylon para que éste se enfríe, de esta manera cuando se retira el nylon del molde de forma manual mantiene su ruta o forma final.

Para la aplicación de modelos agregados dentro de este proceso primero se realizó la medición de la velocidad de la banda transportadora de cada horno. La tabla 15 muestra los resultados obtenidos y de la misma manera se identificó el número de personas que trabaja en cada horno.

No. Horno	Velocidad de cadena/ banda [m/seg]	No. de Personas que se encuentran en el Horno
1	168	2
2	97.27	3
3	107.42	3
4	229.92	2
5	125	3

8.2 Actividades complementarias

15% de Suplementos (Asignados por actividades de carga y descarga de Molde/  
Manejo de Molde)

Tabla 15. Número de personas asignadas a cada horno y velocidad de cadena/banda

Una vez obtenida la velocidad de cada horno y el número de personas que tiene asignada a cada horno, se realizó la tabla 16 formulada, en la cual existen todas las diferentes variables que influyen en el proceso de termoformado y que son importantes para determinar el tiempo estándar de cada número de parte, así como la capacidad de cada uno de los hornos.

### Tiempo estándar proceso de Termoformado

A) No. moldes en total del No. De parte	20
B) Velocidad del Horno elegido [m/seg]	168
C) N. Personas en Horno	3
D) Long. Caro (Frame) (CH:1 m, MED: 1.25 o 1.50 m, GRA. 2.5 m)	1.25
E) Velocidad Total= Velocidad de horno*Longitud de Frame	210
F) No. Personas en Horno*Velocidad Total	630
G) Tiempo efectivo/No. moldes	39.7
H) Tiempo estándar por una pieza [seg/pza.]	45.655
<i>Pullcard (Run 3) [No. horas necesarias para fabricar 1,000 piezas]</i>	12.681

Tabla 16. Parámetros para determinar el tiempo estándar en el proceso de termoformado

# Horno	LONGITUD DE FRAME/ESTRUCTURA [m]	# DE PARTE ENSAMBLE	#INTERNO	Número de Cavidades Totales
Horno 1	1	805	000899	1
Horno 1	1	940	000902	2
Horno 1	2.5	522	000885	2
Horno 1	1	542F	000547	10
Horno 1	1	542AE	000824	10
Horno 1	1.5	JC49	000430	10
Horno 1	2.5	714E	000254	20
Horno 1	1	171F	000450	20
Horno 1	1.5	267B	000558	20
Horno 1	1.5	267E	000559	20
Horno 1	1.5	436	000822	10
Horno 1	1	978	000981	20
Horno 1	2.5	516	000791	30
Horno 1	1.5	756	000976	5

Tabla 17. Tabla resumen de algunos de los productos o números de parte que se termoforman en el horno No.1.

### Proceso de Inserción

Una vez realizado el proceso de corte nylon y termoformado, el siguiente proceso que se realiza es el proceso de inserción el cual se desarrolla de la siguiente manera.

- a) Cada número de parte o producto tiene 2 moldes que sujetan a la pieza termoformada para evitar que se mueva el nylon durante el proceso de inserción.
- b) Cada molde para sujeción de la pieza termoformada lleva un molde complementario, este molde sirve de soporte para colocar el componente complementario a la inserción, es decir existen diferentes componentes para el proceso de inserción figura 22:
  - Inserción de conector (Quick conector).
  - Inserción de adaptador.
  - Inserción de sensor.
  - Inserción de tubo metálico.

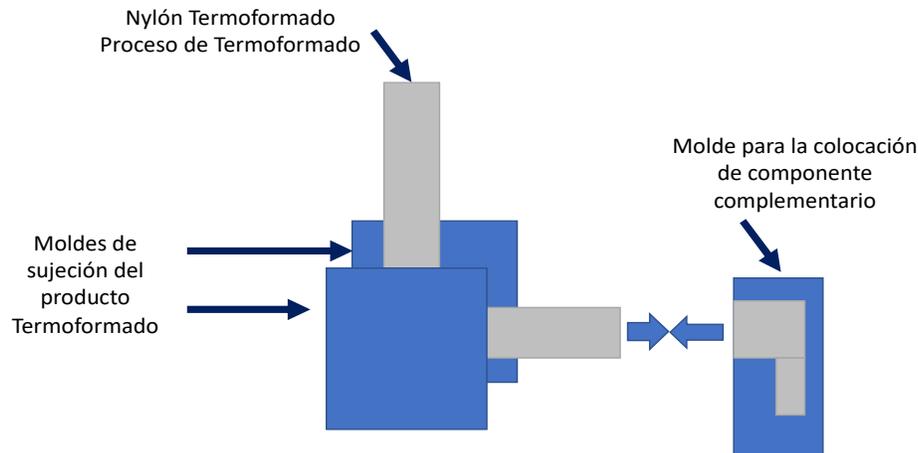


Figura 22. Proceso de inserción.

- c) Una vez realizada la inserción de cualquier variante, internamente se tiene un proceso que valida de manera visual la calidad de cada inserción; la marca de los 360° con marcadores es realizada con el objetivo de asegurar que la inserción cumple con los requerimientos internos y posteriormente los requerimientos con los clientes / *OEM*'s.

Es importante mencionar que existen diferentes equipos dedicados a la inserción por lo que se realizaron mediciones en las diferentes áreas.

Después de la medición de cada tiempo de inserción en las diferentes áreas de la organización, se definieron los tiempos estándar para cada uno de los tipos de inserción obteniendo como resultado la tabla 18 con esta referencia se puede definir el tiempo estándar de cada inserción de una manera generalizada. Esta información es de vital importancia cuando se proyectan nuevos negocios para la organización.

- Inserción de conector (Quick conector)
- Inserción de adaptador
- Inserción de sensor
- Inserción de tubo metálico

Tipo de inserción: Nylon a Q.C			Tipo de inserción: Nylon a Q.C		
Área	seg/pza.	Números de parte	Área	seg/pza.	Números de parte
Global	15.6	53	Global	15.6	53
MX Jumper	16.5	27	MX Jumper	16.5	27
MX Bundles	14.8	36	MX Bundles	14.8	36

<b>Fill</b>	18.5	5	<b>Fill</b>	18.5	5
<b>DD001-2-3</b>	14.2	24	<b>DD001-2-3</b>	14.2	24
<b>Bundle XX</b>	14.7	12	<b>Bundle XX</b>	14.7	12
	Promedio Ponderado	15.38 seg/pieza		Promedio Simple	15.72 seg/pieza

Tipo de inserción: Nylon a Adaptador			Tipo de inserción: Nylon a Adaptador		
Área	seg/pza.	Números de parte	Área	seg/pza.	Números de parte
<b>Global</b>	12.8	6	<b>Global</b>	12.8	6
<b>MX Bundles</b>	14.4	4	<b>MX Bundles</b>	14.4	4
	Promedio Ponderado	13.44 seg/pieza		Promedio Simple	13.60 seg/pieza

Tipo de inserción: Nylon a Tubo			Tipo de inserción: Nylon a Tubo		
Área	seg/pza.	Números de parte	Área	seg/pza.	Números de parte
<b>MX Bundles</b>	19.4	17	<b>MX Bundles</b>	19.4	17
<b>DD001-2-3</b>	22	15	<b>DD001-2-3</b>	22	15
<b>Bundle XX</b>	20.8	14	<b>Bundle XX</b>	20.8	14
	Promedio Ponderado	20.67 seg/pieza		Promedio Simple	20.73 seg/pieza

Tabla 18. Tiempos estándar obtenidos para los diferentes tipos de inserción en cada una de las áreas de la organización considerando un promedio simple y un promedio ponderado

Otro de los procesos principales dentro del segmento de metálicos es el proceso de formado o abocardado. En este proceso se consideró el estudio de tiempos en cada uno de los diferentes equipos que se tienen en la organización como se puede observar en la figura 23.

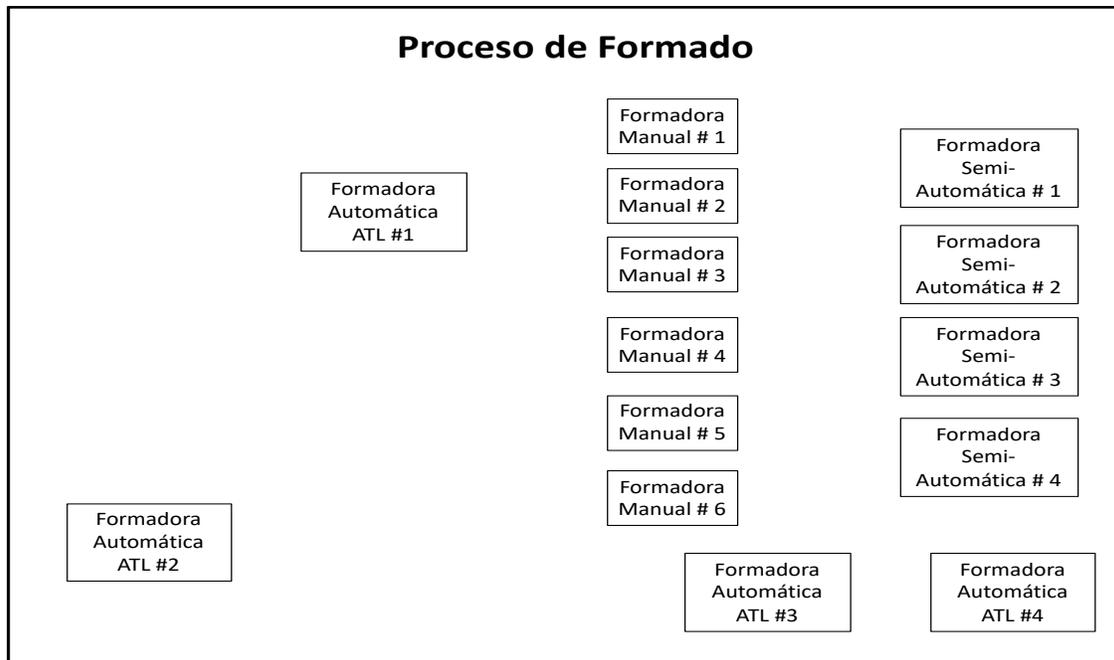


Figura 23. Distribución de equipos de formado en la organización.

Para el primer equipo, la formadora automática ATL es un equipo que realiza el formado de ambos extremos para cada línea de frenos. Para los formados de otros diámetros de líneas, la formadora semiautomática está dedicada a esta operación y de la misma manera también se utilizan formadoras manuales de cada línea.

La tabla 19 muestra las actividades que fueron cronometradas en el proceso de formado semiautomático y formado manual, así como el porcentaje (%) de suplementos que fueron asignados a cada operación.

Formado		
	Actividades de Abocardado	Tiempo Ciclo [seg]/[pza]
1	1er Abocardado (Abrir)	
2	1ra Inspección y ensamble de conexión	
3	2do Abocardado (cerrar)	
4	2da Inspección y marcado 2	
5	Atado	
6		
Total [pza]/[seg]		0.00
15% de Suplementos		0.00
Total [pza]/[seg] & Suplementos		0.00

Tabla 19. Actividades cronometradas en el proceso de formado.

Dentro del área de formado también se consideran procesos primarios o previos al proceso de formado, los cuales son el peel off (Pelado), Rimado (Careado) y Chaflán, este último proceso es posterior al rimado, que hace que el material tenga un ángulo en ambos extremos. La distribución de estos procesos en la organización se puede visualizar con la figura 24.

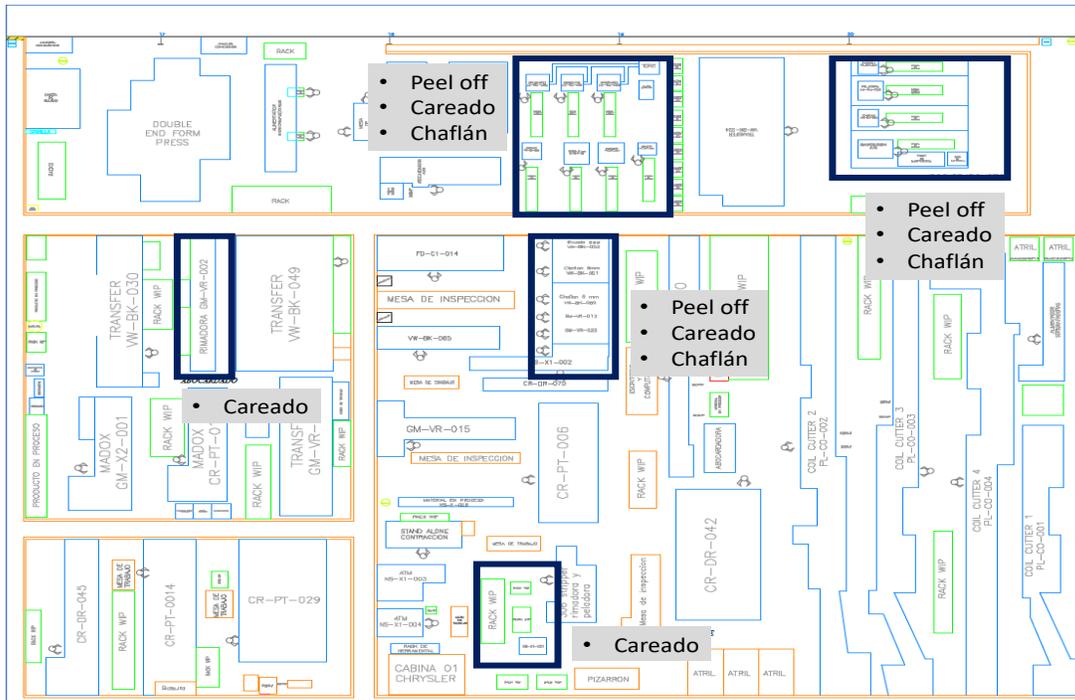


Figura 24. Distribución de equipos de procesos anteriores al formado, *Peel off*, Careado, Chaflán en la organización.

Para cada uno de los procesos primarios que son realizados antes del proceso de formado, se utilizaron las siguientes tablas 20-22 con el objetivo de determinar todas las actividades que están inmersas en el equipo.

1	<b>Peladora</b>	<b>No equipo.</b>
	Actividad	Tiempo [seg]
1	Recoger material	
2	Preparar material	
3	Tiempo Ciclo (+ Suplementos 15%)	
4	Dejar material	
TOTAL [seg]		
<b>Rate del equipo [pzas]/hr</b>		

Tabla 20. Actividades cronometradas en el proceso de *peel off*/pelado.

2	Careado	No equipo.
	Actividad	Tiempo [seg]
1	Recoger material	
2	Preparar material	
3	Tiempo Ciclo (+ Suplementos 15%)	
4	Dejar material	
TOTAL [seg]		
<b>Rate del equipo [pzas]/hr</b>		

Tabla 21. Actividades cronometradas en el proceso de Rimado/Careado.

Formado equipo Maddox		
	Actividades de Abocardado	Tiempo Ciclo [pza][seg]/[pza]
1	1er Abocardado (Abrir)	
2	1ra Inspección	
3	Ensamble de conexión	
4	2do Abocardado (cerrar)	
5	2da Inspección y marcado 2	
6	Retrabajo	
7	Atado & Empaque	
Total [pza]/[seg]		
15% de Suplementos		
Total [pza]/[seg] & Suplementos		

Tabla 22. Actividades cronometradas en el proceso de formado semiautomático y manual

Los procesos existentes dentro del área de formado tienen un rol importante ya que son los primeros procesos con los que inicia la manufactura de un producto, de los cuales el 60% son realizados de manera manual y el 40% de manera semi automática. Un objetivo principal fue el determinar cuál es la capacidad que tiene cada equipo con base en el tiempo estándar. La tabla 23 muestra los *rate* de producción o velocidad de producción por hora obtenidos en área de formado con esto se busca brindar al área de producción una herramienta adicional para el control de producción.

Tabla de relación de Tiempos Estándar

Proceso	Equipo	Diámetro de la tubería	Rate [pza/hra]	Formado		Ensamble de conexión		
				Tiempo estándar [pza]	Tiempo Run 3 (Base 1000 pzas) [hrs]	Ensamble de conexión manual [seg/ pza]	Emsamble de conexión Automático [seg/ pza]	Tiempo Run 3 (Base 1000 pzas) [hrs]
PELADO, CAREADO Y CHAFLÁN	Pelado negro	VW-BK-004, VW-BK-008	3/16"	390	9.23	2.56		
	Pelado blanco brushing	VW-BK-091, VW-BK-090	6mm	300	12	3.33		
	Pelado / Careado o Stripper	CR-PT-008, NS-X1-001	3/16"	220	16.36	4.54		
	Careado	GM-VR-002, VW-BK-007, VW-BK-002...	3/16" 5/16" 3/8"	490	7.34	2.04		
	Careado de 1/4, 10 mm	GM-VR-023	1/4" 5/16"	220	16.5	4.58		
	Careado	CR-DR-001	8mm	350	10.28	2.86		
	Pelado negro	CR-DR-001	8mm	240	15	4.17		
	Rimado	VW-BK-050	6mm	490	7.34	2.04		
	Chaflán	VW-BK-052	6mm	490	6.42	1.78		
	Chaflán	VW-BK-051	8mm	150	24	6.67		
	Chaflán	VW-BK-003, VW-BK-009	3/16"	490	7.34	2.04		

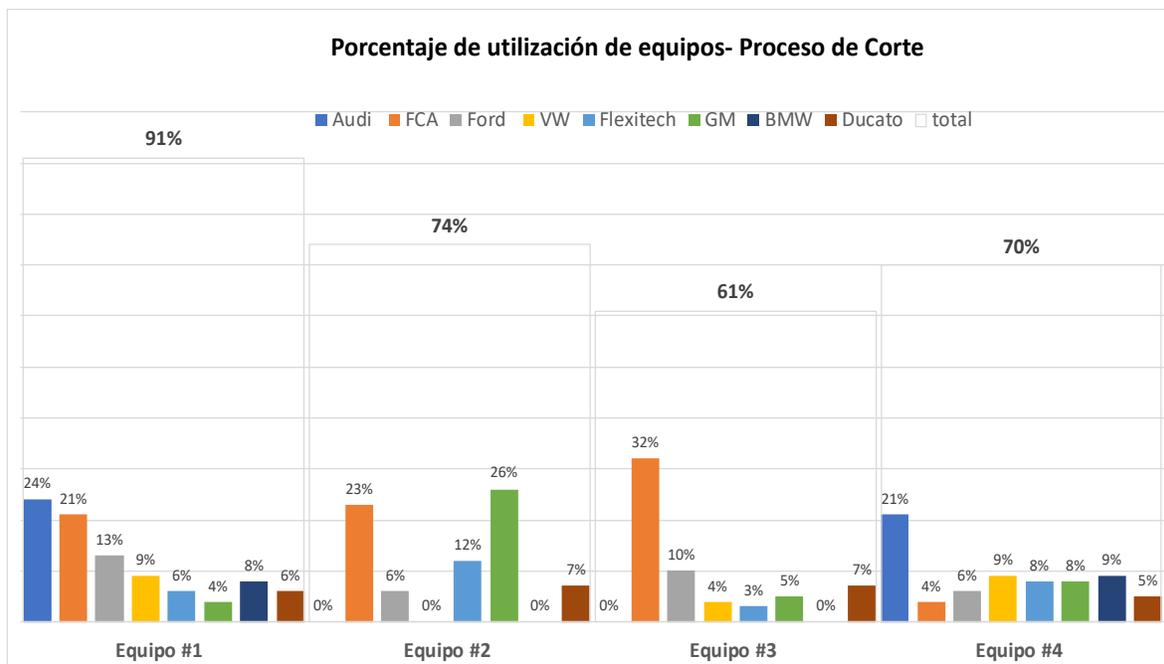
	Proceso	Equipo	Diámetro de la tubería	Rate [pza/hra]	Tiempo estándar [pza]	Tiempo Run 3 (Base 1000 pzas) [hrs]	Ensamble de conexión manual [seg/pza]	Emsamble de conexión Automático [seg/pza]	Tiempo Run 3 (Base 1000 pzas) [hrs]
<b>TIPOS DE FORMADORAS</b>	Formadora ATM	VW-BK-038 Abrir	3/16"	650	5.5	1.53	1.5	N/A	0.42
	F. ATM	VW-BK-018 Cerrar	3/16"	650	5.5	1.53	N/A	N/A	N/A
	F. 8mm	VW-BK-070 C/extremo	8 mm	170	9.96	2.77	4.65	N/A	1.29
	F. 6mm	FD-CI-014 C/extremo	6 mm	250	7.12	1.98	0.92	N/A	0.26
	F. ATL	ATL Ambos extremos	3/16"	650	5.5	1.53	N/A	Si	N/A
	F. manual	AB-03-21	3/16"	300	12.05	3.35	1.72	N/A	0.48
	F. Transfer	VW-BK-024 a. extremos	3/16"	290	11.23	3.12	N/A	Si	N/A
	F. Transfer	CR-DR-042 a. extremos	1/4"	300	12.01	3.34	1.71	N/A	0.48
	F. Transfer	VW-BK-030 a. extremos	3/16"	300	11.62	3.23	N/A	N/A	N/A
	F. Transfer	VW-BK-029 C/extremo	3/16"	200	9.32	2.59	1.33	N/A	0.37
	F. Maddox	CR-DR-045 C/extremo ( Tipo de F.)	5/16" 3/8"	250	7.11	1.98	N/A	N/A	N/A
	F. Maddox	CR-PT-015 C/extremo ( Tipo de F.)	5/16" 3/8"	250	7.25	2.01	N/A	N/A	N/A
	F. Maddox	GM-X2-001 C/extremo	5/16" 3/8"	250	5.79	1.61	2.68	N/A	0.74

F. Manual	CR-PT-014 C/extremo	3/16"	250	5.57	1.55	2.46	N/A	0.68
F. Manual	GM-VR-015 C/extremo	3/16"	300	5.02	1.39	1.49	N/A	0.41
F. Manual	VW-BK-048 C/extremo	1/4"	388	9.28	2.58	2.95	N/A	0.82
F. GM	GM-VR-019 C/extremo	3/16"	150	11.32	3.14	1.41	N/A	0.39

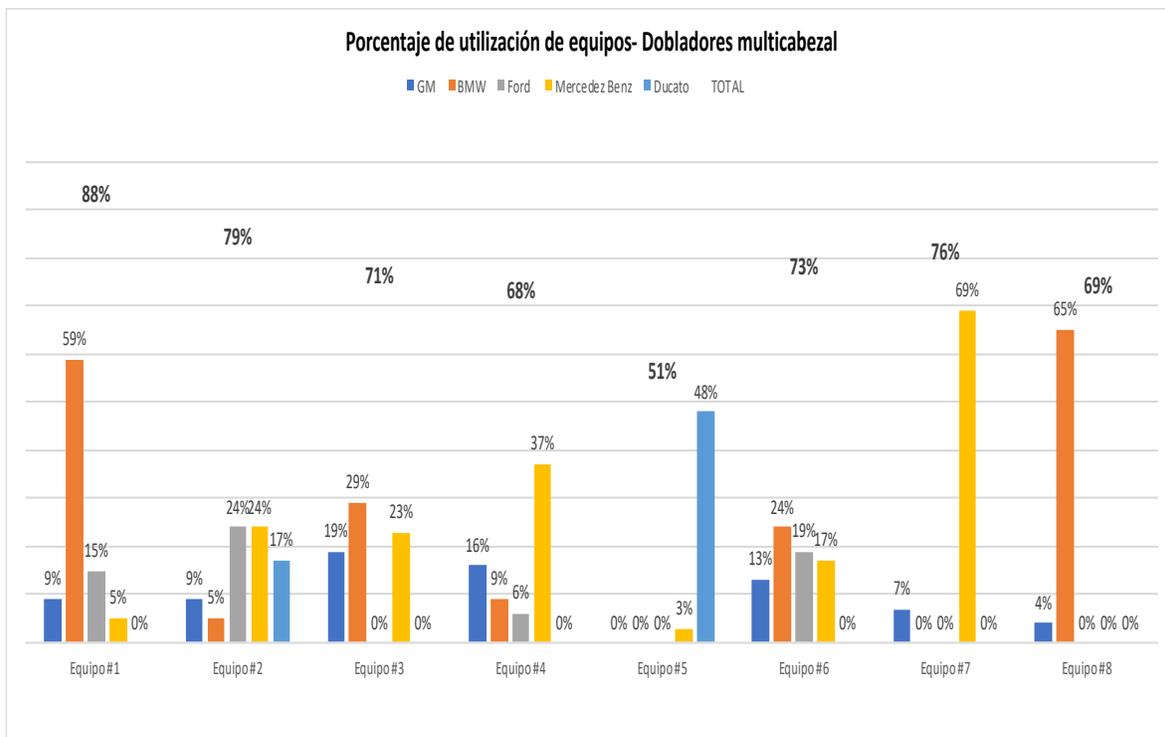
Tabla 23. Resultados equipos de formado. Elaboración propia

## 6.8 Pruebas a comportamiento en ambiente dinámico

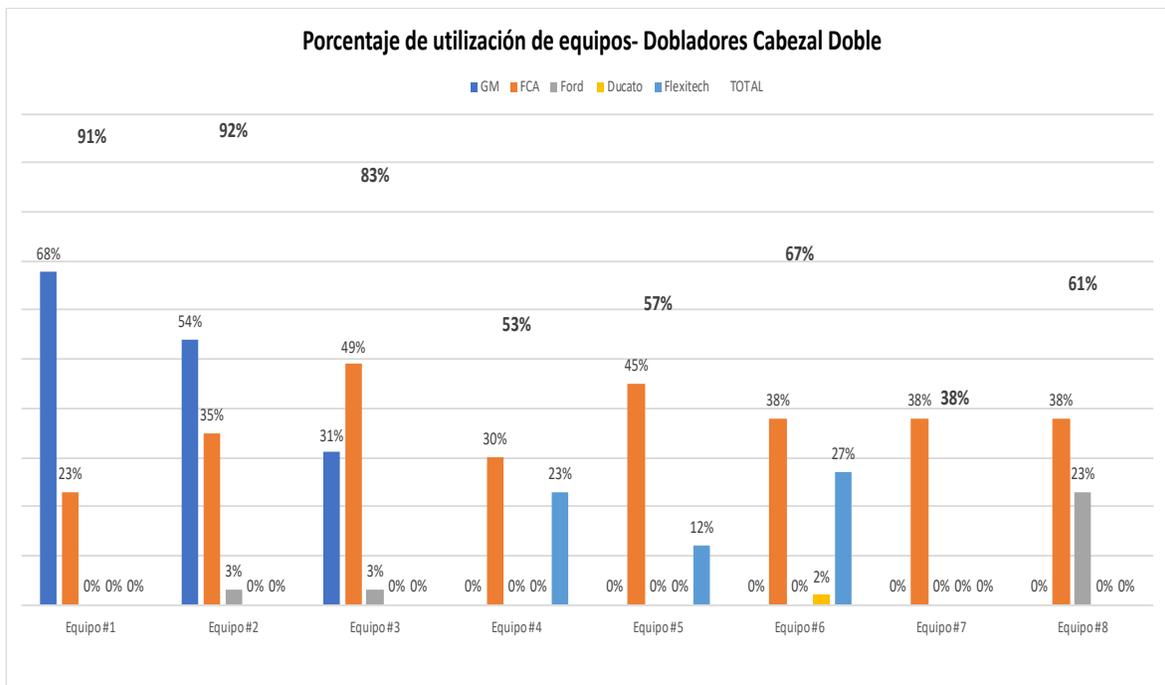
A continuación, se muestran distintos gráficos en donde fue aplicado el modelo de agregado de manufactura, los gráficos (gráfico 7-13) representan a algunos de los procesos más representativos de la organización. De acuerdo con el entendimiento del sistema de producción en términos de utilización del equipo y la capacidad instalada, la funcionalidad de representar de esta manera la información es ofrecer un panorama actual de cómo se encuentra la utilización y capacidad proyectada en ambas divisiones de la organización.



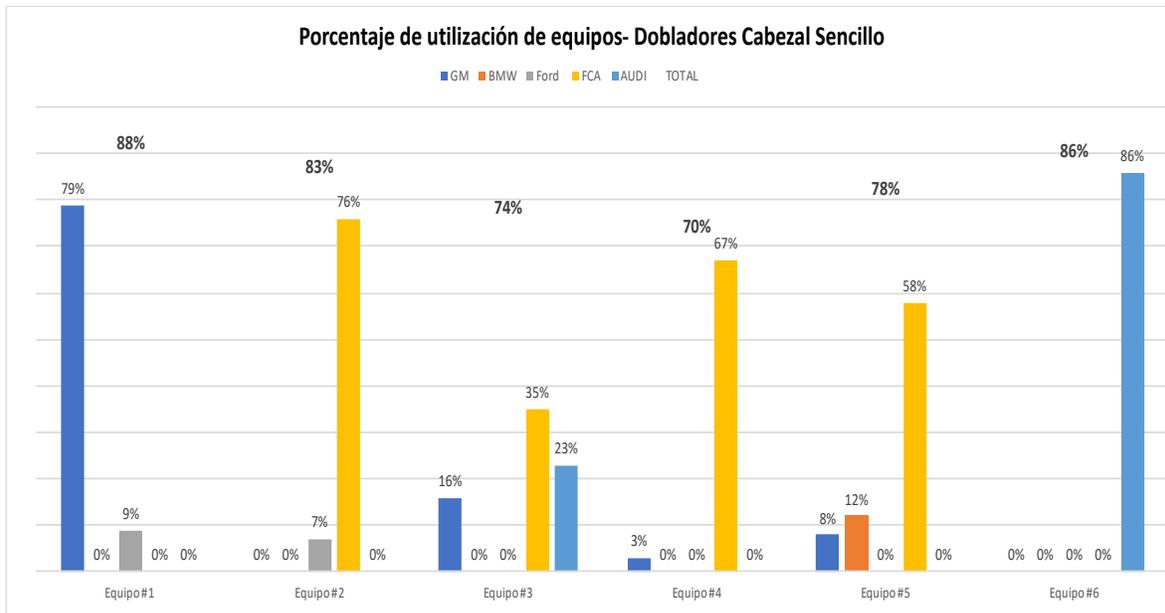
Gráfica 7. Porcentaje de utilización de equipos- Proceso de Corte. Elaboración propia



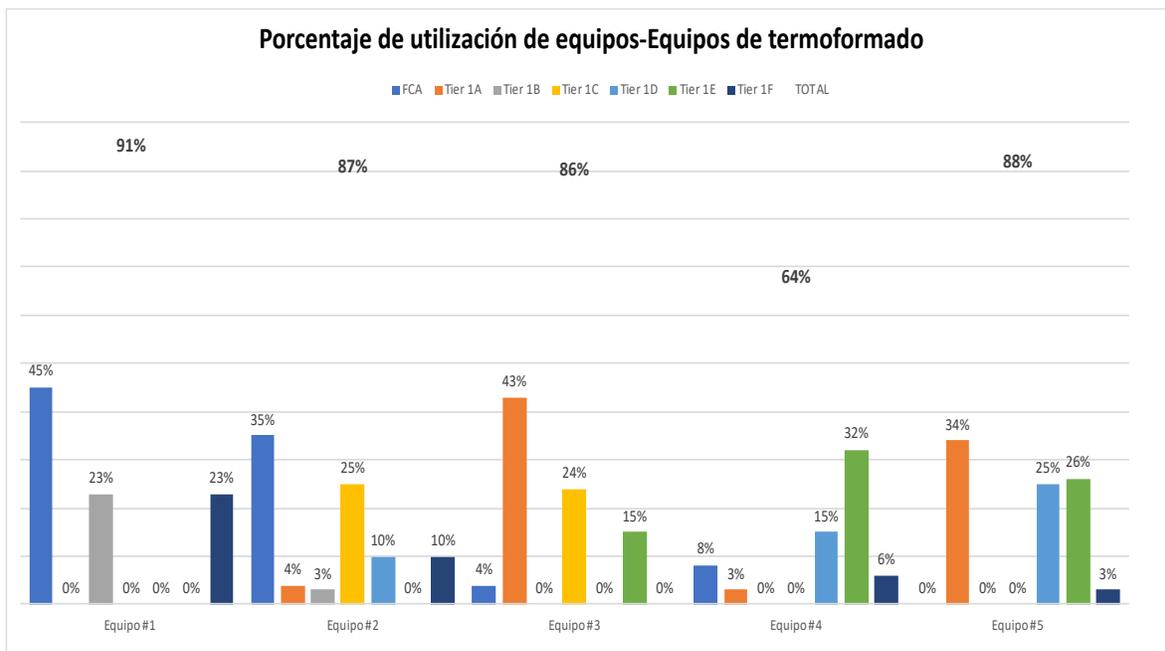
Gráfica 8. Porcentaje de utilización de equipos- Dobladores Multicabezal. Elaboración propia



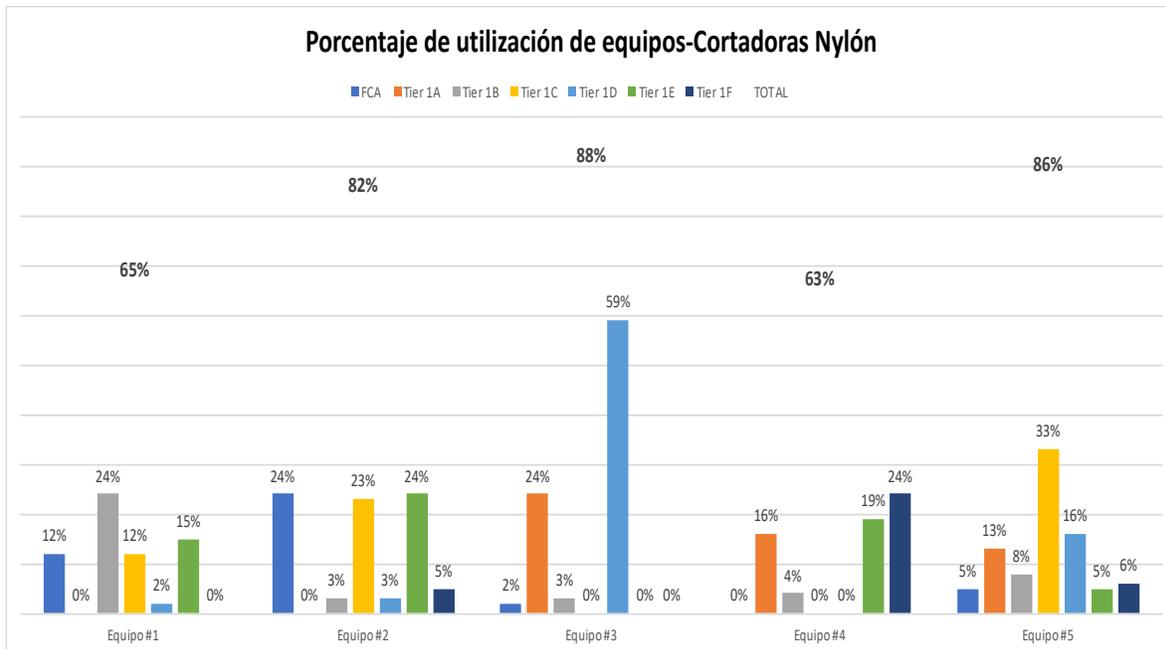
Gráfica 9. Porcentaje de utilización de equipos- Dobladores cabezal Doble. Elaboración propia



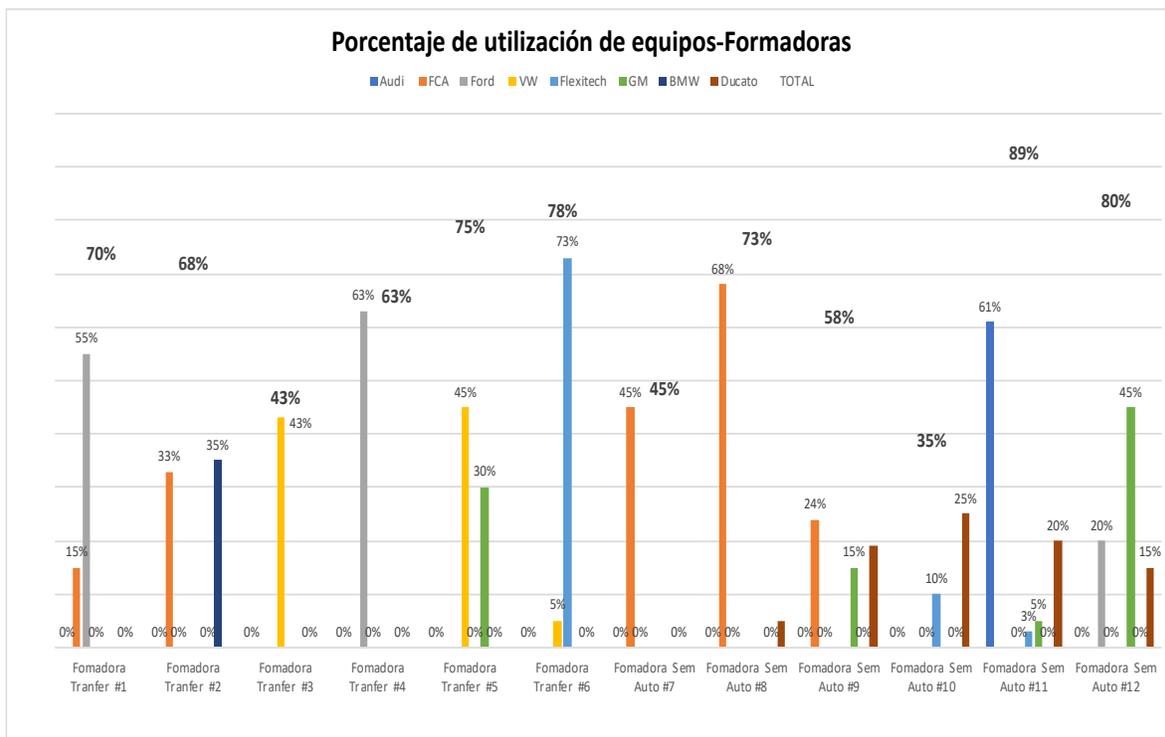
Gráfica 10. Porcentaje de utilización de equipos- Dobladores cabezal Sencillo. Elaboración propia



Gráfica 11. Porcentaje de utilización de equipos- Equipos de Termoformado. Elaboración propia



Gráfica 12. Porcentaje de utilización de equipos- Cortadoras Nylon. Elaboración propia



Gráfica 13. Porcentaje de utilización de equipos- Formadoras. Elaboración propia

## 6.9 Aplicación en sistemas productivos

Parte del alcance en este proyecto de investigación es desarrollar una herramienta en un contexto industrial que permita a las organizaciones conocer su sistema productivo actual, a través del conocimiento del propio sistema de producción. Además, durante la realización del proyecto se generarán diferentes enfoques los cuales podrían crear mejoras, no obstante, estos enfoques no fueron parte de la problemática a solucionar dentro de la organización. Las empresas dentro del sector de la proveeduría en el sector automotriz requieren que el nivel de servicio hacia las *OEM* cumpla con las expectativas por lo que es indispensable resolver problemáticas que puedan impactar directamente a sus clientes.

Como parte fundamental de la investigación, la necesidad de implementación del modelo agregado (apartado 4.2) significaba analizar el 75 %, lo que significaba que todos los procesos que son genéricos para el proceso de manufactura de los productos fue objeto de estudio, mientras que el 25% son procesos específicos dentro de las diferentes líneas de producción de la organización y pertenecientes a *OEM* particulares. La aplicación de los modelos agregados de manufactura dentro del sector automotriz consta de 6 fases, las cuales fueron implementadas en cada uno de los procesos de la organización, como lo muestra la figura 25.

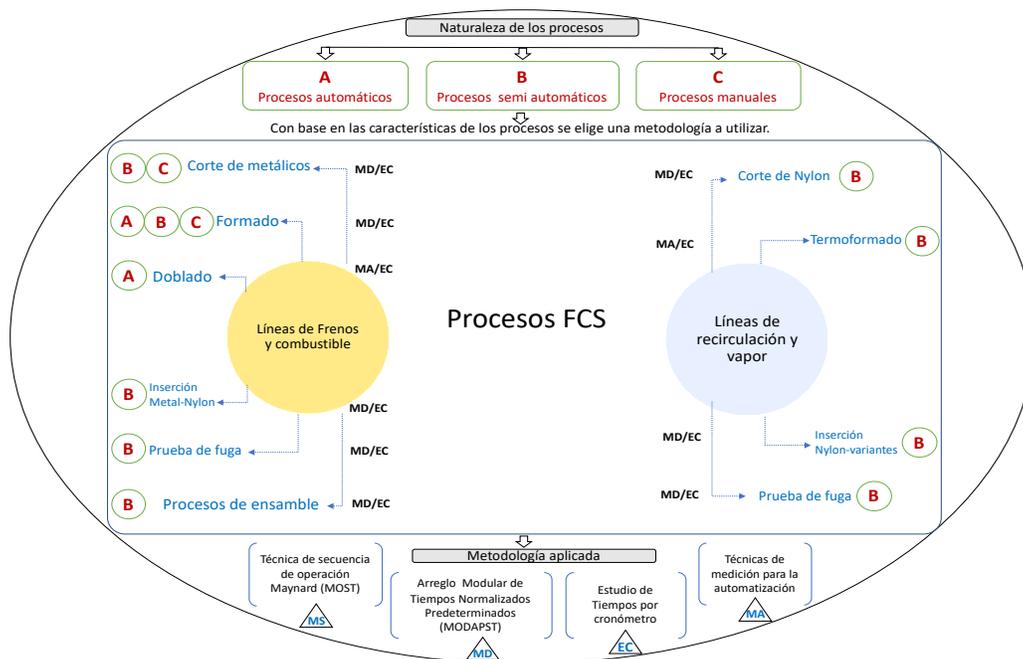


Figura 25. Naturaleza de los procesos internos de la organización. Elaboración propia

A continuación, se muestra un resumen (tabla 24) con cada una de las fases desarrolladas del modelo agregado, mostrando los resultados obtenidos y/o modelos matemáticos generados para cada uno de los procesos.

División	Proceso	Fase 1 Análisis de operación	Fase 2 Metodología aplicada de estudio de tiempos	Fase 3 Modelado Matemático	Fase 4 Análisis de capacidad (Diseño/Efectiva)	Fase 5 Modelación de datos estándar	Fase 6 Modelos agregados de Manufactura
<b>Metálicos</b>  (División de Metálicos y Nylons)	A) Corte Metálicos	*Análisis de actividades que agregan valor a la operación  *o bien actividades necesarias para la operación	*Se realizaron las mediciones con las herramientas de arreglo modular de tiempos Predeterminados.  *Se utilizó la técnica de medición del tiempo ciclo con cronometro.	*Se determinó la herramienta de regresión lineal, considerando los ajustes necesarios a la recta, obteniendo errores inmersos y coeficientes de correlación.  *Dada la naturaleza del proceso y la importancia de las actividades que agregan valor, las cuales no estaban consideradas o referenciadas en algún otro instrumento, se anexaron al modelo matemático.	*El modelado matemático es la base para poder determinar la utilización actual; utilización efectiva.	*El modelo matemático sirve para determinar, actualizar el tiempo estándar ya sea por un cambio de ingeniería, un nuevo número de parte como proceso productivo o bien para el área de prototipos.	*Proyección de nuevos negocios, incremento de requerimientos por parte de las <i>OEMs</i> .  *Medición de eficiencia y OEE de la organización.  *Herramienta para control, programación de producción por turno.
	B) Formado	*Análisis de actividades que agregan valor a la operación  *o bien actividades necesarias para la operación.  *Debido a la flexibilidad de los procesos o la mezcla del requerimiento de producción se realizaron mediciones en cada uno de los equipos existentes.	*Se realizaron las mediciones con las herramientas de arreglo modular de tiempos Predeterminados.  *Se utilizó la técnica de medición del tiempo ciclo con cronometro.	*Una vez realizadas las mediciones se crearon tablas de referencia considerando las variables existentes en cada producto o número de parte.	*Siendo más de 40 equipos dentro del área y siendo el un proceso critico por la diversidad de productos, y la gran dependencia de clientes internos permitió conocer la capacidad efectiva del área y de cada equipo.  *Equipos de manufactura y estimación de programa pueden visualizar la condición actual del área.	*Siendo una de las áreas primordiales dentro de la organización y dada las características de cada producto o número de parte se crearon datos estándar con respecto a la característica de cada producto, el equipo en donde se manufactura; considerando cualquier variable existe con el objetivo de robustecer el proceso de estimación.	*Se particularizan estimaciones a cada número de parte, puesto que anteriormente se generalizada por tratarse de un mismo equipo, sin embargo, existen variantes.  *Proyección de nuevos negocios, incremento de requerimientos por parte de las <i>OEMs</i> .  *Medición de eficiencia y OEE de la organización.  *Herramienta para control, programación de producción por turno para supervisores de producción.
	C) Doblado	*Análisis de actividades que agregan valor a la operación	*Ya que la naturaleza del proceso es semiautomática, se realizó el estudio de	*Se determinó la herramienta de regresión lineal, considerando los	*El modelado matemático permite es la base para poder determinar la	*El modelo matemático sirve para determinar, actualizar el tiempo	*Se particularizan estimaciones a cada número de parte, puesto

	<p>*o bien actividades necesarias para la operación.</p> <p>**Debido a la flexibilidad de los procesos o la mezcla del requerimiento de producción se realizaron mediciones en cada uno de los equipos existentes.</p> <p>*Se realizó la medición de Changeovers.</p>	<p>tiempos considerando técnicas de medición para la automatización.</p> <p>*Se utilizó la técnica de medición del tiempo ciclo con cronometro, ya que la gran diversidad de cada número de parte determina un tiempo ciclo diferente para cada uno de ellos.</p>	<p>ajustes necesarios a la recta, obteniendo errores inmersos y coeficientes de correlación.</p> <p>*Dada la naturaleza del proceso y la importancia de las actividades que agregan valor, las cuales no estaban consideradas o referenciadas en algún otro instrumento, se anexaron al modelo matemático.</p> <p>*Se realizaron los modelos para los 4 diferentes equipos de doblado</p> <p>-Doblador automático (altos volúmenes), doblado cabezal sencillo &amp; doble y doblador muticabezal.</p>	<p>utilización actual; utilización efectiva.</p>	<p>estándar ya sea por un cambio de ingeniería, un nuevo número de parte como proceso productivo o bien para el área de prototipos.</p>	<p>que anteriormente se generalizada por tratarse de un mismo equipo, sin embargo, existen variantes.</p> <p>*Proyección de nuevos negocios, incremento de requerimientos por parte de las OEMs.</p> <p>*Medición de eficiencia y OEE de la organización.</p> <p>*Herramienta para control, programación de producción por turno para supervisores de producción.</p>
<p>D) Inserción</p> <p>(División de Metálicos y Nylons)</p>	<p>*Análisis de actividades que agregan valor a la operación</p> <p>*o bien actividades necesarias para la operación</p> <p>*Se realizó la medición de Changeovers.</p>	<p>*Se realizaron las mediciones con las herramientas de arreglo modular de tiempos Predeterminados.</p> <p>*Se utilizó la técnica de medición del tiempo ciclo con cronometro.</p>	<p>*Una vez realizadas las mediciones se crearon tablas de referencia considerando las variables existentes en cada producto o número de parte.</p>	<p>*El modelado matemático es la base para poder determinar la utilización actual; utilización efectiva.</p>	<p>*El modelo matemático sirve para determinar, actualizar el tiempo estándar ya sea por un cambio de ingeniería, un nuevo número de parte como proceso productivo o bien para el área de prototipos.</p>	<p>*Proyección de nuevos negocios, incremento de requerimientos por parte de las OEMs.</p> <p>*Medición de eficiencia y OEE de la organización.</p>
<p>E) Pruebas de Fuga</p> <p>(División de Metálicos y Nylons)</p>	<p>*Análisis de actividades que agregan valor a la operación</p> <p>*o bien actividades necesarias para la operación</p> <p>*Se realizó la medición de Changeovers.</p>	<p>*Se realizaron las mediciones con las herramientas de arreglo modular de tiempos Predeterminados.</p> <p>*Se utilizó la técnica de medición del tiempo ciclo con cronometro.</p>	<p>*Se crearon tablas de referencia considerando las variables existentes.</p>	<p>*El modelado matemático es la base para poder determinar la utilización actual; utilización efectiva.</p>	<p>*Se realizó la actualización de los tiempos estándar de los números de parte actuales.</p>	<p>*Proyección de nuevos negocios, incremento de requerimientos por parte de las OEMs.</p> <p>*Medición de eficiencia y OEE de la organización.</p>

F) Procesos de ensamble	<p>*Análisis de actividades que agregan valor a la operación</p> <p>*o bien actividades necesarias para la operación</p>	<p>*Se realizaron las mediciones con las herramientas de arreglo modular de tiempos Predeterminados.</p> <p>*Se utilizó la técnica de medición del tiempo ciclo con cronometro.</p>	<p>*Se realizó un modelo de matemático que puede estimar el tiempo requerido para cada una de las actividades que realiza una persona en una operación de ensamble.</p> <p>*Se estimaron tiempos de acuerdo a la naturaleza de cada componente.</p>	N/A	<p>*El modelo matemático sirve para determinar, actualizar el tiempo estándar ya sea por un cambio de ingeniería, un nuevo número de parte como proceso productivo o bien para el área de prototipos.</p>	<p>*Proyección de nuevos negocios, incremento de requerimientos por parte de las <i>OEMs</i>.</p> <p>*Medición de eficiencia y OEE de la organización.</p>
G) Termoformado	<p>*Análisis de actividades que agregan valor a la operación</p> <p>*o bien actividades necesarias para la operación</p> <p>*Se realizó la medición de Changeovers.</p>	<p>*Ya que la naturaleza del proceso es semiautomática, se realizó el estudio de tiempos considerando técnicas de medición para la automatización.</p> <p>*Se utilizó la técnica de medición del tiempo ciclo con cronometro.</p>	<p>*Se realizó un modelo de matemático que puede estimar el tiempo requerido para los equipos que se tienen en esta área.</p> <p>*El modelo de estimación se realizó con las variables específicas de cada equipo, siendo que a pesar de que son las mismas no siempre son los mismos parámetros, los cuales influyen en el tiempo estándar de cada número de parte.</p>	<p>*El modelado matemático es la base para poder determinar la utilización actual; utilización efectiva.</p>	<p>*Se realizó la actualización de los tiempos estándar de los números de parte actuales.</p>	<p>*Proyección de nuevos negocios, incremento de requerimientos por parte de las <i>OEMs</i>.</p> <p>*Medición de eficiencia y OEE de la organización.</p>

Tabla 24. Resumen de las fases desarrolladas del modelo agregado

## Capítulo VII Discusión de resultados

Los resultados obtenidos de la implementación de los modelos agregados en los procesos de manufactura dentro de la organización se pueden resumir en los siguientes segmentos:

- I. Área de estimación de tiempos estándar para lanzamientos considerando los 8 principales procesos de la organización.
- II. Área de Manufactura:
  - a) asignación y actualización de tiempos de fabricación en los procesos.
  - b) actualización de las capacidades instaladas en los diferentes equipos de los distintos programas de la organización.
  - c) seguimiento a *OEE* de las diferentes áreas.
- III. Área de Finanzas, actualización de márgenes de ganancia en programas relevantes dentro de la organización.
- IV. Área de control / supervisión de producción y asignación de personal (*headcount*).
- V. Planeación de Materiales.

I. Área de estimación de tiempos estándar en lanzamientos.

A continuación, se presenta la tabla 25 donde se muestran de los tiempos de estimación utilizados antes de implementar los modelos agregados dentro de la organización.

En general, cada una de las tablas contiene el proceso al que pertenecen las 3 variantes que se considera; sencilla, mediana y compleja, el tiempo ciclo para cada variante en unidades seg/pieza, esto a su vez expresado en minutos y finalmente representados en un *Run 3*, es decir, en cuántas horas se manufacturan 1000 piezas.

Por ejemplo, en la tabla 25 se muestra el proceso de corte en donde solo estaban considerados 3 variantes posibles: sencilla, mediana y compleja, esta forma generalizada tenía ventajas y desventajas, puesto que únicamente estaba enfocado en el tiempo ciclo de la operación.

TIEMPOS ESTANDAR PARA METALES83%)									
CORTE EN COIL CUTTER									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
4	0.067	[HRS]	6	0.10	[HRS]	8	0.13	[HRS]	
TOTAL	4	0.067	1.33	6	0.10	2.00	8	0.13	2.67

Tabla 25. Tiempos estándar del proceso de corte.

Por el contrario, el modelo generado mediante modelos agregados se basó no solo el tiempo ciclo de la operación, sino que consideraba todas las actividades que estaban implícitas en esta operación y que a su vez impactaban en labor, eficiencia y costos, además el modelo agregado es específico para cada número de parte, para cada uno de los diversos equipos existentes, así como diferente *set ups*, por lo que no se utiliza la generalización en los tiempos estándar.

Las operaciones semi automáticas mostradas en la siguiente tabla 26 básicamente tienen la misma premisa generalizada, mediante modelos agregados se buscó llegar a lo particular debido al número de equipos existentes y variantes diversas.

Para estos casos, cuando se realizó el levantamiento o muestreo de algunos productos, es decir 60% de los números estudiados, incluso superaban los 8 seg/pieza asignada anteriormente con las diversas variantes.

RIMADO AMBOS EXTREMOS									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
8	0.133	[HRS]	8	0.13	[HRS]	8	0.13	[HRS]	
TOTAL									
8	0.133	2.67	8	0.13	2.67	8	0.13	2.67	

PELADO AMBOS EXTREMOS									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
8	0.133	[HRS]	8	0.13	[HRS]	8	0.13	[HRS]	
TOTAL									
8	0.133	2.67	8	0.13	2.67	8	0.13	2.67	

Tabla 26. Tiempos estándar del proceso de pelado y careado (operaciones semi automáticas).

El proceso de formado o abocardado fue uno de los que se llevó más tiempo en realizarlo, más de 10 equipos con sus variantes fueron estudiados, es importante en la organización ya que el 90% de las plataformas llevan este proceso, por ello se reporta la producción alcanzada y el valor monetario del *WIP* generado en este proceso, este último asociado por el tiempo de fabricación requerido. Modelos agregados se implementaron para cada uno de los equipos, con ello se brindaron herramientas al área de producción como planeación y control de producción.

Las tablas 27 y 28 muestran las referencias que se tenían anteriormente para conocer los tiempos estándar en los procesos de formado automático y semi automático.

ABOCARDADO AMBOS EXTREMOS EN ATM									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
14	0.233	[HRS]	14	0.23	[HRS]	14	0.23	[HRS]	
TOTAL	14	0.233	4.67	14	0.23	4.67	14	0.23	4.67

ENSAMBLE DE CONEXIONES AMBOS LADOS									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
8	0.133	[HRS]	8	0.13	[HRS]	8	0.13	[HRS]	
TOTAL	8	0.133	2.67	8	0.13	2.67	8	0.13	2.67

Tabla 27. Tiempos estándar del proceso de formado automático y ensamble de conexiones.

RIMADO Y PELADO AMBOS EXTREMOS (STRIPPER)									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
12	0.200	[HRS]	12	0.20	[HRS]	12	0.20	[HRS]	
TOTAL	12	0.200	4.00	12	0.20	4.00	12	0.20	4.00

ABOCARDADO EN TRANSFER AMBOS EXTREMOS									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
16	0.267	[HRS]	16	0.27	[HRS]	16	0.27	[HRS]	
TOTAL	16	0.267	5.33	16	0.27	5.33	16	0.27	5.33

ABOCARDADO AMBOS EXTREMOS EN MADDOX									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
10	0.167	[HRS]	10	0.17	[HRS]	10	0.17	[HRS]	
TOTAL	10	0.167	3.33	10	0.17	3.33	10	0.17	3.33

Tabla 28. Tiempos estándar del proceso de formado semi automático.

Para el proceso de doblado, en las referencias anteriores solo se tenían 3 diferentes equipos (tabla 29) de los 6 actuales. Es decir, estas 6 variantes se resumen en 2, dobladores automáticos y dobladores CNC, sin embargo, los dobladores en CNC se clasifican internamente por el concepto de tecnología que manejan, misma que impacta en tiempo ciclo, repetibilidad y tiempo de *set ups*.

Para estas variantes de CNC disponibles, en un inicio del programa la estimación se realizó con ayuda de los proveedores que realizan los equipos, es decir todos fueron brindados a través de simulaciones de software en donde se confirma factibilidad de manufactura, así como un tiempo estimado de fabricación.

Sin embargo, una vez implementados los programas, con modelos agregados se obtuvo la información directamente de los equipos ya en operación obteniendo como resultado diferencias de entre 20 %y 30% por arriba del tiempo ciclo cotizado en el programa.

DOBLADO EN CNC SINGLE HEAD 3.5 SEG X CURVA									3.5
SENCILLO (UP 10 BENDS)			MEDIANA (UP 15 BENDS)			COMPLEJA (MORE 15 BENDS)			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
		[HRS]			[HRS]			[HRS]	
12.25	0.204		10.5	0.175		10.5	0.175		
TOTAL	12.25	0.204	4.08	10.5	0.175	3.50	10.5	0.175	3.50

DOBLADO EN CNC DOUBLE HEAD 3 SEG X CURVA									10
SENCILLO (UP 10 BENDS)			MEDIANA (UP 15 BENDS)			COMPLEJA (MORE 15 BENDS)			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
		[HRS]			[HRS]			[HRS]	
30	0.500		30	0.500		30	0.500		
TOTAL	30	0.500	10.00	30	0.500	10.00	30	0.500	10.00

DOBLADO EN POWER BENDER 2.5 SEG X CURVA									2.5
SENCILLO (UP 10 BENDS)			MEDIANA (UP 15 BENDS)			COMPLEJA (MORE 15 BENDS)			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
		[HRS]			[HRS]			[HRS]	
6.25	0.104		6.25	0.104		6.25	0.10		
TOTAL	6.25	0.104	2.08	6.25	0.10	2.08	6.25	0.10	2.08

Tabla 29. Tiempos estándar del proceso de doblado.

Por otra parte, la tabla 29 muestra las referencias que eran utilizadas para los procesos de corte nylon, termoformado e inserción para los procesos de líneas de recirculación y vapores.

La tabla muestra 30 los procesos de estimación con sistema similar a los anteriores, solo tiempos estándar asignados con base en las características como sencilla, mediana y compleja de cada número de parte.

TIEMPOS ESTANDAR PARA NYLONS									
CORTE DE NYLON									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
		[HRS]			[HRS]			[HRS]	
3	0.05		4	0.07		5	0.08		
TOTAL	3	3	1.00	4	4.00	1.33	5	5.00	1.67

TERMOFORMADO									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
		[HRS]			[HRS]			[HRS]	
1.2	0.02		1.2	0.02		1.2	0.02		
CARGA	9	0.15	12	0.2		30	0.5		
DESCARGA	9	0.15	12	0.2		30	0.5		
TOTAL	19.2	0.32	6.40	25.2	0.42	8.40	61.2	1.02	20.40

INSERCIÓN									
SENCILLO			MEDIANA			COMPLEJA			
Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	Seg	Min	PZ/1000	
		[HRS]			[HRS]			[HRS]	
21	0.35		21	0.35		21	0.35		
TOTAL	21	0.35	7.00	21	0.35	7.00	21	0.35	7.00

Tabla 30. Tiempos estándar del proceso del corte nylon, termoformado e inserción.

El proceso de termoformado, comparado con los procesos de corte Nylon e inserción representa mayor complejidad de análisis de variantes, debido a la flexibilidad que deben de tener los 5 equipos existentes basado en la demanda o mezcla requerida y a las restricciones (dimensiones de equipo y dimensiones de moldes) y parámetros (velocidad, temperatura, tiempo de enfriado) que se deben de controlar para tener un comportamiento en el proceso estable y dentro del tiempo estándar requerido, las cuales fueron considerados en el nuevo sistema de estimación brindado.

## II. Área de Manufactura

Como principal aportación al área de manufactura se logró tener la capacidad efectiva instalada en los diferentes equipos existentes dentro de la organización, ya que no se encontraba representada de una manera adecuada, es decir un tiempo ciclo más un 15% de tolerancia, evaluado directamente en algunos procesos no representaba las condiciones actuales de control de producción o carga de producción proyectada en el equipo, puesto que no consideraba las mezclas en cada uno de ellos, los tiempos de cambio y otras actividades complementarias que pertenecían a la operación.

Cada uno de los programas o conjunto de productos que pertenecen a una plataforma (vehículo) para las diferentes empresas armadoras, tiene una hoja de fabricación conocida como *Pullcard* (hoja viajera), en ella en principio se anexan todos los procesos que son requeridos para la fabricación de cada producto, así como el tiempo estándar con el que fue cotizado a la empresa armadora, además lo anterior está alineado a un cálculo planeado de *headcount* (personal), es decir la cantidad de personas con la que iniciará el programa desde las primeras fases de validación con la armadora, y así sucesivamente con la rampa de producción, hasta lograr el máximo de producción en serie del vehículo.

Como se mencionó en capítulos anteriores, la auditoría realizada a *Pullcards* para algunos números conocidos como *high runners*; productos de alto volumen de fabricación no coincidían con los tiempos estándar cotizados. Este hallazgo representaba el impacto en el indicador de eficiencia y cálculo de personal a nivel operativo de la organización.

Con la implementación de modelos agregados, en la fase 3; modelación y simulación se realizaron los diferentes escenarios que se tendrían si se decidía realizar una actualización de las *pullcards* con base en la información obtenida por la simulación.

Considerando que cada uno de los procesos contenía la información o datos estándar obtenidos por las mediciones realizadas, a través de la simulación se tenía una confiabilidad mayor al 90%, a continuación, se muestra el escenario para cada uno de los procesos involucrando al área de finanzas quienes también proyectaron el cambio en los costos (márgenes) para cada uno de los números que se impactarían.

La tabla 31 muestra los diferentes procesos de fabricación que componen a un número de parte conocido como de alto volumen, para cada proceso se tiene el tiempo estándar por pieza cotizado en un inicio del programa (Columna C), así mismo la columna D es el costo asociado a cada operación, el cual considera los costos de labor más los costos indirectos. Mientras que en la columna F, se muestra los tiempos obtenidos a través de la implementación de los modelos agregados.

Para la columna C se tiene un tiempo total de 27 hr/pieza requerida para manufacturar el producto considerando todos los procesos, mientras que en la columna F se obtiene un total de 34 hr/pieza lo que representa un 26% más del tiempo planeado de fabricación al inicio del programa.

Por otra parte, la columna G representa el costo proyectado por el área de finanzas, el cual comparándolo con el inicial representa un incremento del 13% más, es decir antes una pieza costaba \$1.96 USD, y ahora se proyectó un costo de \$2.3 USD por pieza.

A	B	C	D	E	F	G
PROCESO	TIEMPO PULL CARD	seg/pza	COSTO USD	TIEMPO PULL CARD MEDICIONES	seg/pza	COSTO USD
PROCESO 1	1.2	4.4	\$ 0.01	2.3	8.4	\$ 0.01
PROCESO 2	7.8	28.0	\$ 0.03	18.3	65.9	\$ 0.08
PROCESO 3	2.2	8.1	\$ 0.01	2.4	17.5	\$ 0.01
PROCESO 4	6.7	24.2	\$ 0.03	5.2	18.6	\$ 0.02
PROCESO 5	6.7	24.2	\$ 0.03	6.9	29.5	\$ 0.03
PROCESO 6	19.2	69.0	\$ 0.08	21.5	77.4	\$ 0.09
PROCESO 7	1.3	4.7	\$ 0.01	2.6	9.3	\$ 0.01
PROCESO 8	14.2	51.0	\$ 0.06	21.6	77.8	\$ 0.09
PROCESO 9	6.7	24.2	\$ 0.03	6.7	29.5	\$ 0.03
PROCESO 10	4.5	16.1	\$ 0.02	4.8	17.5	\$ 0.02
PROCESO 11	0.0	0.0	\$ -	17.0	61.3	\$ 0.07
PROCESO 12	11.2	40.2	\$ 0.05	13.3	47.8	\$ 0.06
PROCESO 13	0.9	3.2	\$ 0.00	1.4	11.0	\$ 0.01
PROCESO 14	1.9	6.7	\$ 0.01	3.8	13.8	\$ 0.02
PROCESO 15	28.3	102.0	\$ 0.12	37.2	133.9	\$ 0.16
PROCESO 16	2.2	8.1	\$ 0.01	2.4	17.5	\$ 0.01

<b>PROCESO 17</b>	6.7	24.2	\$	0.03	<b>5.9</b>	<b>21.3</b>	\$	<b>0.03</b>
<b>PROCESO 18</b>	2.2	8.1	\$	0.01	<b>1.5</b>	<b>11.0</b>	\$	<b>0.006</b>
<b>PROCESO 19</b>	1.1	3.9	\$	0.00	<b>1.6</b>	<b>5.8</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 20</b>	0.9	3.3	\$	0.00	<b>1.6</b>	<b>5.9</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 21</b>	3.9	14.0	\$	0.02	<b>9.4</b>	<b>33.8</b>	\$	<b>0.04</b>
<b>PROCESO 22</b>	6.7	24.2	\$	0.03	<b>5.6</b>	<b>29.5</b>	\$	<b>0.02</b>
<b>PROCESO 23</b>	1.8	6.6	\$	0.01	<b>1.8</b>	<b>6.6</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 24</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>2.0</b>	<b>7.3</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 25</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>2.0</b>	<b>12.5</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 26</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>2.0</b>	<b>12.5</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 27</b>	14.6	52.5	\$	0.06	<b>23.5</b>	<b>84.6</b>	\$	<b>0.10</b>
<b>PROCESO 28</b>	44.7	161.0	\$	0.19	<b>47.0</b>	<b>175.2</b>	\$	<b>0.20</b>
<b>PROCESO 29</b>	2.2	8.1	\$	0.01	<b>1.5</b>	<b>11.0</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 30</b>	2.4	8.7	\$	0.01	<b>2.9</b>	<b>10.4</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 31</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>3.3</b>	<b>12.0</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 32</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>4.5</b>	<b>16.3</b>	\$	<b>0.02</b>
<b>PROCESO 33</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>2.5</b>	<b>12.5</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 34</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>2.3</b>	<b>12.5</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 35</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>2.9</b>	<b>10.4</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 36</b>	42.8	154.0	\$	0.18	<b>44.8</b>	<b>161.3</b>	\$	<b>0.19</b>
<b>PROCESO 37</b>	2.4	8.8	\$	0.01	<b>3.2</b>	<b>11.5</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 38</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>3.3</b>	<b>12.0</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 39</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>4.5</b>	<b>16.3</b>	\$	<b>0.02</b>
<b>PROCESO 40</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>1.4</b>	<b>12.5</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 41</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>3.6</b>	<b>13.0</b>	\$	<b>0.02</b>
<b>PROCESO 42</b>	3.2	11.5	\$	0.01	<b>2.7</b>	<b>9.7</b>	\$	<b>0.01</b>
<b>PROCESO 43</b>	41.8	150.5	\$	0.18	<b>40.1</b>	<b>196.0</b>	\$	<b>0.17</b>
<b>PROCESO 44</b>	70.3	223.0	\$	0.30	<b>72.0</b>	<b>259.2</b>	\$	<b>0.31</b>
<b>PROCESO 45</b>	57.5	207.0	\$	0.25	<b>61.7</b>	<b>222.1</b>	\$	<b>0.26</b>
		27.0 hr/ Pieza	\$	1.96 USD /pieza		34.0 hr/ Pieza	\$	2.3 USD /pieza

Tabla 31. Tiempos estándar de fabricación para 1 número de parte con requerimiento de producción alto.

Sin duda realizar los cambios en los procesos llevó un plan de implementación, ya que el realizar el cambio impactaba en diversos ámbitos, el primero, en la correcta representación de la eficiencia,

estos resultados se pueden visualizar en las siguientes tablas que muestran el seguimiento que se realiza a unos de los principales procesos de la organización. El proceso de corte es el primer proceso con el que se inicia en la división de líneas de frenos y combustibles, por esta razón se decidió realizar el comparativo antes y después.

La tabla 32, seguimiento de eficiencia, área de corte año 2018 muestra el comportamiento de los 4 equipos de corte, donde cada uno tiene asignado una mezcla de producción. Los tres equipos trabajan los 5 días a la semana, por lo que el seguimiento se decidió realizarlo en un periodo de 2 semanas.

Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Lunes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>20.60</u>	8.71	42%
	PL-CO-002	<u>19.44</u>	11.78	61%
	PL-CO-003	<u>8.53</u>	3.63	43%
	PL-CO-004	<u>28.42</u>	15.59	55%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Martes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>22.22</u>	12.66	57%
	PL-CO-002	<u>18.84</u>	9.88	52%
	PL-CO-003	<u>10.76</u>	6.00	56%
	PL-CO-004	<u>22.06</u>	17.30	78%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Miércoles/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>26.89</u>	7.51	28%
	PL-CO-002	<u>16.94</u>	9.82	58%
	PL-CO-004	<u>46.57</u>	16.76	36%
	PL-CO-TMP	<u>21.58</u>	13.66	63%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Jueves/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>21.89</u>	9.35	43%
	PL-CO-002	<u>21.10</u>	17.11	81%
	PL-CO-003	<u>15.44</u>	3.02	20%
	PL-CO-004	<u>19.63</u>	9.45	48%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Viernes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>24.78</u>	7.19	29%
	PL-CO-002	<u>101.08</u>	59.23	59%
	PL-CO-003	<u>8.88</u>	2.12	24%
	PL-CO-004	<u>22.42</u>	16.68	74%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Lunes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>25.44</u>	7.66	30%
	PL-CO-002	<u>17.85</u>	9.82	55%
	PL-CO-003	<u>16.39</u>	8.14	50%
	PL-CO-004	<u>20.31</u>	4.47	22%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Martes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>24.19</u>	6.97	29%
	PL-CO-002	<u>23.35</u>	6.74	29%
	PL-CO-003	<u>20.71</u>	11.36	55%
	PL-CO-004	<u>18.29</u>	8.20	45%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Miércoles/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>17.31</u>	7.22	42%
	PL-CO-002	<u>10.77</u>	7.47	69%
	PL-CO-003	<u>18.43</u>	7.95	43%
	PL-CO-004	<u>46.12</u>	26.05	56%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Jueves/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>21.81</u>	12.57	58%
	PL-CO-002	<u>23.92</u>	6.97	29%
	PL-CO-003	<u>15.00</u>	6.08	41%
	PL-CO-004	<u>16.36</u>	9.59	59%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Viernes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>21.64</u>	12.41	57%
	PL-CO-002	<u>19.70</u>	2.54	13%
	PL-CO-003	<u>18.56</u>	10.23	55%
	PL-CO-004	<u>22.26</u>	12.85	58%

Tabla 32) Seguimiento de eficiencia, área de corte, año 2018

Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Lunes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>12.00</u>	9.82	82%
	PL-CO-002	<u>21.97</u>	19.53	89%
	PL-CO-003	<u>14.47</u>	8.85	61%
	PL-CO-004	<u>20.32</u>	15.20	75%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Martes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>61.35</u>	28.66	47%
	PL-CO-002	<u>19.40</u>	17.92	92%
	PL-CO-004	<u>20.38</u>	16.54	81%
	PL-CO-TMP	<u>14.26</u>	12.82	90%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Miércoles/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>22.63</u>	15.51	69%
	PL-CO-002	<u>19.60</u>	15.91	81%
	PL-CO-003	<u>17.99</u>	11.14	62%
	PL-CO-004	<u>22.35</u>	16.03	72%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Jueves/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>10.79</u>	7.46	69%
	PL-CO-002	<u>20.92</u>	15.27	73%
	PL-CO-004	<u>21.72</u>	13.46	62%
	PL-CO-TMP	<u>20.50</u>	16.01	78%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Viernes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>18.29</u>	17.15	94%
	PL-CO-002	<u>20.74</u>	17.26	83%
	PL-CO-004	<u>19.09</u>	14.98	78%
	PL-CO-TMP	<u>23.01</u>	15.84	69%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Lunes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>11.77</u>	8.17	69%
	PL-CO-002	<u>24.44</u>	17.97	74%
	PL-CO-003	<u>1.56</u>	0.83	53%
	PL-CO-004	<u>22.48</u>	14.91	66%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Martes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>14.11</u>	8.63	61%
	PL-CO-002	<u>18.59</u>	15.70	84%
	PL-CO-003	<u>5.53</u>	3.75	68%
	PL-CO-004	<u>23.04</u>	14.16	61%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Miércoles/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>22.22</u>	16.69	75%
	PL-CO-002	<u>17.11</u>	12.51	73%
	PL-CO-003	<u>11.79</u>	9.62	82%
	PL-CO-004	<u>16.84</u>	15.42	92%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Jueves/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>23.20</u>	4.42	19%
	PL-CO-002	<u>18.07</u>	14.46	80%
	PL-CO-003	<u>19.15</u>	16.09	84%
	PL-CO-004	<u>19.66</u>	12.19	62%
Equipo		Hr reales utilizadas	Hr requeridas planeadas	Viernes/Eficiencia
832001 -CORTE DE TUBO EN COIL CUTTER	CO-10-01	<u>18.44</u>	12.27	67%
	PL-CO-002	<u>19.91</u>	14.79	74%
	PL-CO-003	<u>1.18</u>	0.72	61%
	PL-CO-004	<u>23.78</u>	15.44	65%

Tabla 33) Seguimiento de eficiencia, área de corte ,año 2020

Algunos de los resultados que se pueden obtener a través del sistema son: los números de parte que se produjeron, la cantidad de cada uno y principalmente el tiempo estándar requerido para poder realizar cada número, de tal forma que cuando se obtiene la eficiencia de cada equipo se realiza el comparativo de cuántas horas estaban planeadas para el plan de producción de un día Vs las horas reales utilizadas.

La tabla 33, seguimiento de eficiencia, área de corte año 2018 muestra el resultado del seguimiento en las 4 cortadoras a finales del año 2018. Como se puede visualizar, había una gran diferencia entre las horas planeadas y las horas reales en promedio 47% de eficiencia en el periodo de seguimiento.

Mientras que el seguimiento a finales del año 2020, ya con modificaciones realizadas mostró un incremento significativo, 72% de eficiencia en el periodo de seguimiento.

Por todo lo anterior la modificación de las *Pullcards*, a través de modelos agregados y el impacto en los diferentes números de parte fue importante para poder reflejar el comportamiento de un sistema y obtener indicadores directamente del sistema, como fue el caso del cálculo de eficiencia.

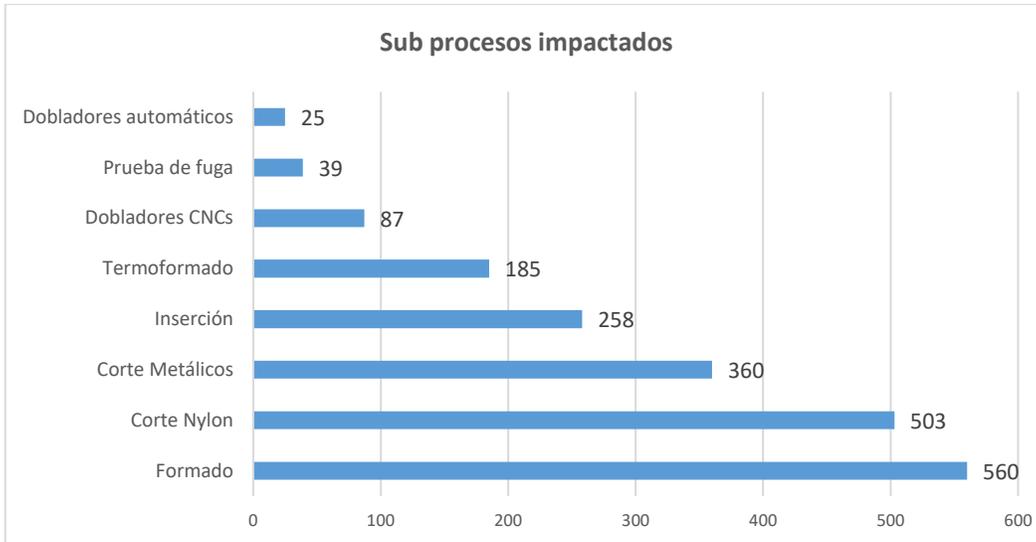
Igualmente, también aportó al cálculo del personal para cada uno de los procesos, ya que el cálculo se basa en la suma de los tiempos estándar planeados para cada proceso.

Para poder realizar estos cambios y minimizar el impacto en el costo en cada uno de ellos, se decidió en conjunto que se realizarán actualizaciones mensuales masivas, pero por proceso, es decir actualizar en todos los números de parte proceso por proceso, priorizando en los números de alto requerimiento. Con lo que se tendría un impacto menor en comparación si se actualizarán todos los procesos por número de parte.

Estos cambios se realizaron en un total de 176 números de parte o números finales, que pertenecen a los 2 segmentos dedicados a la fabricación de líneas de fluidos, como lo son:

- 1) líneas para frenos y líneas de combustible,
- 2) líneas de recirculación y líneas de vapores.

Mientras que la cantidad de subprocessos impactados son lo que se muestra en la gráfica 12:



Gráfica 14. Total de Sub procesos impactados con el modelo agregado de manufactura.

### III. Área de control / supervisión de producción y asignación de personal (*headcount*)

Para el área de producción se implementó en cada uno de los equipos las velocidades de línea o equipo (*rate de producción*) como se muestra en la siguiente figura 26.

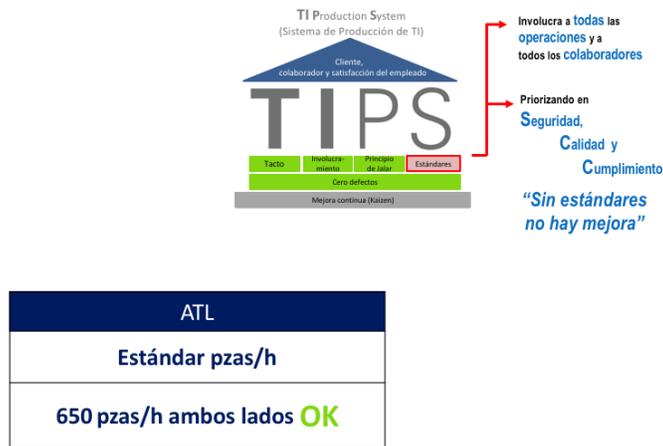


Figura 26. Estándares o velocidades de línea posteados en equipos de producción.

Para implementar estos nuevos controles de producción, se realizaron los entrenamientos a supervisores con el objetivo de que conocieran el proceso de obtención de dichos *rates*, de esta manera se podría validar esta información. Así mismo al personal técnico se le explicó junto con el área de producción el proceso de obtención de estos resultados.

Para cumplimiento de los *rates* todas las áreas tienen un formato conocido como control de producción hora por hora (figura 27), el cual contiene información para seguimiento al cumplimiento de planes de producción este formato permite registrar los resultados obtenidos hora por hora, mezcla que se realizó al programa de producción, así como el registro de tiempos muertos considerando las *4Ms* (Mano de obra, Método, Maquinaria, Materiales) buscando la mejora en cada proceso.

Máquina: \_\_\_\_\_ Celda: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 1er Turno: \_\_\_\_\_ 2do Turno: \_\_\_\_\_ 3er Turno: \_\_\_\_\_  
 No. de Parte: \_\_\_\_\_ No. de Parte: \_\_\_\_\_ No. de Parte: \_\_\_\_\_

Nombre/Número del Operador

	HORA		STD	REAL +/-	TIEMPOS MUERTOS (min)				Notas
					MANO DE OBRA	MÉTODO	MAQUINARIA	MATERIAL	
1	06:00	07:00	80						
2	07:00	08:00	80						
3	08:00	09:00	80						
4	09:00	10:00	80						
5	10:00	11:00	80						
6	11:00	12:00	80						
7	12:00	13:00	80						
8	13:00	14:00	80						
9	14:00	15:00	80						
10	15:00	15:30	40						
<b>Total 1er Turno</b>									

1	15:30	16:30							
2	16:30	17:30							
3	17:30	18:30							
4	18:30	19:30							
5	19:30	20:30							
6	20:30	21:30							
7	21:30	22:00							
<b>Total 2do Turno</b>									

1	22:00	23:00							
2	23:00	00:00							
3	00:00	01:00							
4	01:00	02:00							
5	02:00	03:00							
6	03:00	04:00							
7	04:00	05:00							
8	05:00	06:00							
<b>Total 3er Turno</b>									

Figura 27. Formato control de producción hora por hora.

Una vez obtenida la información de la capacidad efectiva de cada equipo en los diversos procesos, se puede realizar una planeación del tiempo requerido para la manufactura de una mezcla de productos, una vez obtenida esta información se proyecta el tiempo requerido de producción, lo que ayuda a evaluar el número de personal en cada una de las líneas de producción.

#### **IV. Planeación de Materiales**

Para el área de planeación de materiales una función principal es asegurar las entregas en tiempo de los distintos requerimientos de las empresas armadoras, para llevar a cabo esta actividad de manera exitosa, el área de producción tiene un rol muy importante. Por esta razón al área de producción se le proporcionó la información relacionada a las velocidades de línea para cada uno de los procesos principales, entre los que destacan las operaciones finales como: ensamble final, doblado final y prueba de fuga la cual fue obtenida a través de modelos agregados. Lo anterior permite al área de producción gestionar de mejor manera los recursos materiales, y distribuir mejor al personal asignado a las diferentes líneas de producción para obtener un mayor cumplimiento al programa de producción.

Además, el área de producción en conjunto con el área de materiales revisó los planes de producción conocidos como *BTSs (Build to Schedule)* de manera que se estableciera dentro de los planes de producción la capacidad efectiva de los números de parte de mayor requerimiento resultando en un mayor cumplimiento al *BTS*, puesto que representaba un mejor comportamiento del sistema de producción ligado al cumplimiento de los requerimientos.

En resumen, la elaboración del presente proyecto permitió conocer cada uno de las principales operaciones de la organización que forman parte de un sistema de producción, debido a que durante el crecimiento de la misma se fueron generando inconvenientes en diversos ámbitos, algunos iniciándose desde fases de estimación o planeación para nuevos negocios, hasta repercutir en el mismo sistema de producción, a través de indicadores de eficiencia incorrectos, cálculo incorrecto de personal técnico contratado, incertidumbre en capacidad efectiva o instalada en la organización, así como también afectando los márgenes de ganancia de diversos productos de la empresa. Es por ello que, el desarrollo e implementación de modelos agregados en los sistemas de producción internos de la organización con el soporte de diversas áreas, permitió mejorar cada una las áreas o procesos en donde se presentaban estas necesidades. Es importante mencionar que, como toda herramienta, durante la aplicación es donde generalmente se encuentran las mejoras, motivo por el cual cada uno de los modelos y resultados presentados fueron desarrollados, corregidos, validados y actualizados con el objetivo de tener herramientas confiables y útiles para la organización.

## Conclusiones

La industria automotriz desde hace un par de décadas ha desarrollado nuevas iniciativas dentro de la manufactura de vehículos hasta ofrecerlos al usuario final, de igual manera ha desarrollado nuevas soluciones para cumplir con las necesidades de los clientes. Sin embargo, como se ha mencionado previamente los cambios demandados por parte del mercado agregan nuevos retos para todas las empresas que están dentro del sector, es decir desde empresas *OEM*, la red amplia de proveedores o proveeduría de autopartes y cadenas de distribuidores son parte primordial de este sector.

Cada una de las soluciones brindadas hacia los usuarios finales implica una colaboración por parte de todas las áreas involucradas. Diversas organizaciones han planteado 4 temas transversales en ámbitos de industria automotriz, los cuales están orientados a tener un fortalecimiento del mercado interno a través de la introducción de nuevas iniciativas que están dirigidas al mejoramiento del medio ambiente, el segundo tiene el fin de mejorar el acceso a mercados internacionales, otro de las áreas en donde el sector ha desarrollado un crecimiento importante es en ámbitos de investigación y desarrollo y finalmente se encuentra el cuarto tema el cual es orientado a mejorar el entorno del negocio.

El planteamiento de esta investigación *Modelos agregados en procesos de manufactura del sector automotriz*, tiene como principal usuario a aquellas empresas que son proveedoras de *OEMs*; sin embargo, ésta no se limita a este sector de manufactura, sino que puede ser extrapolada a otros con alguna situación similar a las empresas del sector de la proveeduría. Modelos agregados será una nueva herramienta que permitirá a estas organizaciones dentro del sector mejorar el entendimiento de su sistema de producción teniendo como objetivo principal responder a las necesidades actuales de un mercado volátil por parte las *OEMs*, practicidad para el entendimiento del mismo y versatilidad en la aplicación de las operaciones a través de una secuencia lógica.

Adicionalmente, México de acuerdo a diversos estudios en la última década en ámbitos de competitividad ha dado un paso importante ya que nuevas empresas *OEMs* (armadoras) se han instalado en varias partes del territorio nacional, por lo que en consecuencia empresas proveedoras han tenido que fungir tanto como importadoras como exportadoras, lo que ha significado un paso importante hacia el tiempo de reacción requerido para adaptarse a demandas o bien incrementando la competitividad brindando un mejor tiempo de respuesta para participar en nuevos negocios.

La presente investigación fue desarrollada con el fin de implementar la herramienta de modelos agregados en una empresa de manufactura *B2B* (Business to business), nivel *Tier 1* y *Tier 2* a la vez, como empresa *Tier 1* significa que en su mayor proporción su producción está destinada a cumplir con la demanda directa de una *OEM*, es decir los productos manufacturados les llegan

directamente a las distintas empresas armadoras. Mientras que como nivel 2 (*Tier 2*) sus operaciones están dedicadas a brindar productos a otras empresas proveedoras de primer nivel (*Tier 1*), es decir, a empresas del mismo grupo de la empresa, por ello la aplicación del modelo se enfoca para estos dos mercados.

Existen diversas razones por las cuales este modelo se propuso y se desarrolló, en términos generales la funcionalidad y alcance del modelo fueron descritos anteriormente en apartados específicos, sin embargo, dentro de la organización en la cual fue desarrollado se presentaban las siguientes oportunidades. La empresa perteneciente a la división *Sistemas de transporte de fluidos* dedicada a la manufactura de sistemas de transporte de fluidos, como por ejemplo líneas para frenos, líneas para transporte de gasolina, líneas de recirculación y vapores, y actualmente se inició con el suministro de líneas para sistemas híbridos y líneas para vehículos eléctricos en México.

La rápida evolución de la organización en diferentes ámbitos sin duda ha tenido un impacto positivo dentro de la organización en cuanto a crecimiento y generación de competitividad, sin embargo, dichos cambios han ayudado a visualizar las oportunidades en las que la organización debe enfatizar a mayor detalle, pues algún cambio dentro de los mismos podría tener un efecto significativo a corto, mediano o largo plazo en las operaciones. Este crecimiento acelerado de la organización sin duda dejó varias áreas o temas importantes dentro del sistema de producción en circunstancias poco favorables. Sin embargo, previo al análisis de cada una de ellas, a continuación, se explica cómo es el funcionamiento desde la planeación de un nuevo negocio hasta su implementación. Es importante mencionar que solo contiene los elementos propios del sistema de producción, es decir temas de investigación y desarrollo, los acuerdos comerciales están ya definidos previamente a las fases de planeación del negocio.

Cuando un nuevo negocio o programa; es decir un nuevo vehículo o versión de este, es introducido al mercado por parte de alguna empresa armadora (*OEM*) cada empresa del sector de la proveeduría participa dentro de este proceso para poder ganarlo e incrementar su competitividad o cartera de clientes.

En particular este proceso dentro de la organización consta de varias fases, las primordiales previas a su evaluación para la manufactura del mismo: es la evaluación de factibilidad, la misma fase es revisada por parte del área de ingeniería de aplicaciones, una vez que es aprobado el diseño se envía para su análisis al área de estimación, la cual dada la naturaleza de la misma pertenece al área corporativa; esta área es la primera que determina los procesos de fabricación que están inmersos, realizan las primeras estimaciones de los tiempos de fabricación, con base en ello determinan la labor requerida, es decir el personal necesario, adicionalmente es la primera área que contacta al área de manufactura avanzada de cada empresa o sitio (*site*).

La manufactura avanzada de cada área es la primera dentro de la empresa que evaluó la factibilidad de capacidad de los equipos actuales, equipos adicionales si es el caso que se requiriera. Por ello cuando el área de estimación tiene ya la primera evaluación del nuevo programa, siempre es evaluada y aprobada por Ingeniería avanzada de la organización.

Cabe destacar que un nuevo programa considera procesos de manufactura genéricos hasta cierto grado y algunos específicos o nuevos. Un área que ha impactado en la organización en gran medida es el tema de capacidad efectiva en la misma. Por tal motivo esta es una de las primeras necesidades que buscó solucionar la herramienta de modelos agregados de manufactura en los diversos procesos genéricos existentes. Es importante mencionar que cuando se estiman tiempos de fabricación o tiempos estándar en procesos genéricos existentes, no significa que el mismo tiempo sea igual para todos los productos o números de parte actuales que consideran estos procesos, puesto que un nuevo programa a pesar de que contemple procesos en principio iguales tiene algunas variables que como todos los demás productos lo diferencian.

Previo a la implementación de modelos agregados, la organización activó un sistema de aproximación a los tiempos de fabricación genérico, sin embargo, una vez que un programa era puesto en marcha hasta su producción en serie, éste no cumplía con las expectativas con las que se aceptó, es decir tiempos ciclos superiores a los cotizados, y como consecuencia cambio en las capacidades actuales además existían algunas discrepancias entre personal planeado contra el personal actual. Es decir, de los 10 procesos genéricos que se tienen dentro de la organización, 8 procesos son los que representaban mayores inconsistencias entre la planeación y el inicio de producción en serie. Esto sin duda tenía impacto en diversos ámbitos entre los que destacan, planeación de material, es decir, planeaban requerimientos fuera de la capacidad existente, control o supervisión de producción, incumplimiento de planes de producción además en diversos procesos no se lograban alcanzar las velocidades de línea (*rates* de producción).

Por otra parte, en el área de recursos humanos, el personal contratado no coincidía con lo planeado, otra de las áreas que también se veía impactada era el área de costos, ya no se tenían los márgenes de ganancia esperados y por último como área de manufactura y manufactura avanzada se debía realizar una extensa revisión para evaluar este cambio en capacidad y su impacto en programas próximos y actuales.

Es importante mencionar que cualquier línea de producción se libera con los clientes, es decir (*OEMs* o empresas *Tiers*), sin embargo, la mayoría de los clientes evalúa la operación final la cual en un 90% de las ocasiones termina con un proceso de ensamble final, lo que significa comprar un equipo dedicado para esta operación final, por lo que comúnmente no se tienen problemas de capacidad en estos procesos y dado que los clientes normalmente validan capacidad final; productos finales, dan

por liberada una línea de producción por lo que no validan a detalle las capacidades o velocidades de línea de los procesos previos. Motivo por el cual las líneas de producción en la mayoría de las ocasiones se liberan con deficiencias en procesos previos, originando turnos adicionales, horas extra de producción, días para generar bancos, entre otros.

Por lo anterior, el planteamiento de la funcionalidad de la herramienta de modelos agregados fue en gran medida mitigar las deficiencias que se habían presentado en diversos pasos durante el lanzamiento de los programas actuales ya en fase de producción en serie.

Por otra parte, uno de los planteamientos para satisfacer estas necesidades fue acercarse a las herramientas existentes dentro del campo de la ingeniería industrial siendo cada una de ellas una oportunidad importante desde planeación hasta su implementación, sin embargo, entendiendo el proceso actual de operación se buscó desarrollar una herramienta de qué manera preventiva en su esencia pudiera responder a las necesidades actuales de la organización, considerando los nuevos enfoques avanzados en los sistema de producción, entre los que los que actualmente destacan estrategias de control para medición de *WIP (work in process)*, modelos integrados de para trabajo por lotes, variación en tiempos de operación y respuesta, funciones aleatorias entre reparaciones entre otros.

En consecuencia, un modelo agregado propuesto consta de 6 etapas primordiales que busca desde un inicio encontrar la manera óptima de conocer el funcionamiento del sistema de producción ante diversas situaciones como se comentó en un inicio en esencia es preventivo. No obstante, dadas las condiciones actuales en las que fue implementado, un sistema de producción puede ya estar operando y el modelo agregado se podría utilizar en alguna de las fases en la que se encontrara la organización.

El modelo agregado fue desarrollado e implementado en 10 procesos genéricos de la organización, la primera fase 1. Análisis de la operación del modelo, implica que se debe de conocer la naturaleza de cada actividad, es decir, actividades que agreguen valor, actividades que no agreguen y actividades que a pesar de que no agregan valor son indispensables para la operación. Previo a la implementación de la fase en cada uno de los procesos se hizo una breve medición del tiempo ciclo del proceso de manera aleatoria en algunos productos. El resultado obtenido en diversos procesos genéricos fue que existía una gran diferencia entre el tiempo ciclo actual de la operación con respecto a tiempo ciclo planeado o cotizado, por lo que se decidió documentar el proceso actual, identificando las actividades que en realidad pertenecían a la operación. El paso siguiente fue medir el tiempo estándar de cada operación.

En la organización no se tenía una metodología establecida para realizar los estudios de tiempos, no obstante, previo a la implementación de la técnica, cada uno de los procesos se clasificó de acuerdo con su naturaleza, con el fin de definir cuál sería la mejor técnica de medición de toma de tiempos, los procesos fueron clasificados como manuales, semi automáticos y automáticos. Posterior a la clasificación se determinó que metodologías se utilizarían, las cuales fueron medición con cronometro, técnicas de medición para la automatización, y medición por arreglo modular de tiempos predeterminados.

Dado que en un inicio se planteó que los tiempos estándar actuales no coincidían con los tiempos cotizados previo a la producción en serie, la primera evaluación que se decidió realizar fue evaluar el impacto de actualizar cada proceso de cada número de parte con los tiempos estándar actuales. Para esta actividad se realizó un análisis preliminar para poder proyectar el impacto con respecto a los costos, sin embargo, dado que el impacto era negativo, puesto que al final se concluía que era más costoso el número de parte o producto; era una labor mayor lo que significaba que el margen de ganancia iba a disminuir.

Otro indicador que no correspondía con la situación actual era el número de personal técnico contrato comparado con el requerido en cada programa, cuando se realizó la proyección con este nuevo enfoque esta cifra correspondía con mayor exactitud a la situación actual. Por lo que tomar la decisión implicaba considerar las ventajas y desventajas. Esta actividad fue un proceso complicado y prolongado ya que por la gran cantidad de números de parte que se tenían activos y los subprocesos que están inmersos, fue una actividad que se desarrolló por fases y que al final se decidió reflejar la situación actual de cómo estaba la organización.

La tercera fase del modelo agregado significó poder realizar la modelación de cada proceso, esta modelación tuvo 2 objetivos, el primero fue determinar la mejor manera de poder proyectar estimaciones previas al lanzamiento de un proceso, y su principal esencia fue que considerara todas las actividades que estaban inmersas en cada uno de ellos , es decir, no solo el tiempo ciclo de una operación, sino un tiempo estándar, la parte importante fue que estas variables se representaran de manera lógica dentro del modelo y la segunda fue brindar al área de estimadores una referencia actualizada y real de cómo se comportan los procesos actualmente y la diversidad existente.

Al final ambos objetivos se cumplieron, e incluso ya que, dada la gran cantidad de los números de parte, de los cuales algunos se clasifican como bajo volumen e incluso en algunos casos son productos considerados como refacciones, los tiempos estándar de cada proceso se asignaron con base en estos modelos matemáticos.

El objetivo de la cuarta fase, llamada análisis de capacidad diseño/efectiva, fue brindar internamente al área de manufactura una herramienta que tuviera la información actualizada de cada uno los

procesos y equipos con el fin de poder hacer proyecciones de capacidades solicitadas y/o cambio en utilidades por parte de los diferentes clientes, su principal uso actualmente es determinar utilidades y comunicar con mayores argumentos el impacto de cualquier cambio por parte de los clientes (*OEMs y Tiers*).

La quinta fase para la definición de datos estándar fue más orientada hacia la parte productiva, pues brindó una herramienta para el control de producción, entre los que destacan la planeación de producción de acuerdo con la capacidad efectiva ya comprobada, el cálculo de eficiencia por zona y las velocidades de la línea en cada subproceso. Además, cada área fue instruida sobre el proceso de medición, las actividades que fueron consideradas para los estudios y la función primordial de estos nuevos enfoques.

Finalmente, la sexta fase del modelo agregado, que, aunque en un inicio se trató cada fase de manera independiente al final consistió en visualizar de una manera integral el comportamiento de cada proceso y en general del mismo sistema de producción. Cambios en el mercado, nuevos retos en flexibilidad de procesos, dinamismo en procesos y mejora en la entrega de respuestas a clientes, son los objetivos principales de este nuevo enfoque/herramienta en los procesos productivos.

Actualmente en varias áreas tanto productivas y de planeación, se tiene como herramienta la información generada a través de esta nueva iniciativa. Como en esencia, responde a nuevos cambios es un enfoque que continuamente se actualiza, nuevos negocios, cambios de ingeniería, plataformas que disminuyen requerimiento, son actividades que promueven que Modelos agregados sea una herramienta utilizada constantemente.

Con respecto a los nuevos retos y sobre ampliar su funcionalidad del Modelo, la herramienta en esencia parte de 3 herramientas existentes en el campo de la ingeniería industrial, sin embargo, Modelos agregados agrega 3 fases las cuales son nuevos enfoques al área de Ingeniería Industrial. La flexibilidad que brinda posiblemente ayude a que otras organizaciones lo consideren como opción, encontrándose en situaciones similares o bien si necesitara la información resultante en particular de alguna de las fases.

Necesidades mencionadas anteriormente y las nuevas que se generan día a día, son aspectos que la disciplina de la Ingeniería Industrial ve como áreas de intervención, al ser un área comprometida no solo con las organizaciones sino también con el desarrollo de nuevos negocios buscando la manera de impactar en diversos ámbitos de la producción sin dejar de considerar los aspectos social, económico y humano.

## Bibliografía

- Arslan, H. (2021). *Analytic Models for when and how to expedite in make-to-order systems*. IEE Transactions, Volume 33, Issue 11
- Brandimarte, P. (1999). *Modeling Manufacturing Systems*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg
- Caramia, M. (2006). *Effective Resource Management in Manufacturing Systems Optimization Algorithms for Production Planning*. Berlin, Germany: Springer-Verlag London
- Curry, G. and Feldman, R. (2009). *Manufacturing Systems Modeling and Analysis*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- De Koster M. B.M (1989), *Capacity Oriented Analysis and Design of Production systems*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- ElMaraghy H. ElMaraghy (2009) *Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Gutiérrez H. (2010), *Calidad total y Productividad*, 3ra Edición. México, DF: Mc Graw Hill.
- Gunther, N. (2007). *Capacity Planning A Tactical Approach to Planning for Highly Scalable Applications and Services*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Hemanta S. (2012), Capacity utilization in small scale industries of India: some empirical evidence from underdeveloped industrial structure, *Journal of Social and Economic Statistics*, vol. 1, no. 1, p.p. 39-53.
- Hodson, W. Maynard. (1996). *Manual del Ingeniero Industrial (4ta Edicion)*. México: McGrawHill.
- Hübl, A. (2018). *Stochastic Modelling in Production Planning Methods for Improvement and Investigations on Production System Behaviour*. Wiesbaden, Germany : Springer Gabler
- Institute of Manufacturing Information and Systems and Department of Industrial and Systems Engineering. (2010). Operational Efficiency. Recuperado de: <http://www.polab.imis.ncku.edu.tw>
- Irani, S. (1999). *Handbook of cellular manufacturing systems*. New York, United States of America: John Wiley & Sons, Inc
- James F. R. (1976). Measuring capacity utilization in manufacturing, in FRBNY Quarterly Review/Winter p.p. 13-28. Recuperado de: <https://fraser.stlouisfed.org/files/docs/>
- Korolyuk, V. (1999). *Models of Systems*. Berlin, Germany: Springer-Science+Business Media, B.V.
- Kulkarni, V. G (2011). *Introduction to Modeling and Analysis of Stochastic Systems*. New York, United States of America: Springer Verlag Berlin Heidelberg

- Leondes, C.T. (1992). *Control and Dynamic Systems. Advances in Theory and Applications*. San Diego, California, United States of America, Academic Press Rapid Manuscript Reproduction
- Liberopoulos, G. and Papadopoulos, T. (2006). *Stochastic Modeling of Manufacturing Systems Advances in Design, Performance Evaluation, and Control Issues*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg
- Louit, D. (2020). *Dynamic optimization model for mining equipment repair by using the-spare parts inventory*. Journal of Mining Science, 46(4), 394-403.
- MacGregor, J. and Tan, B. (2013). *Handbook of Stochastic Models and Analysis of Manufacturing System Operations*. New York, United States of America: Springer Verlag Berlin Heidelberg
- Matta, A. Semeraro Q. (2005.) *Design of Advanced Manufacturing Systems: Models for Capacity Planning in Advanced Manufacturing Systems*. Dordrecht, The Netherlands: Springer
- Meerkov, M. S., Li, J (2009). *Production Systems Engineering*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg
- Modrák V, Semančo P. (2015). *Research in Engineering and Management of Advanced Manufacturing Systems*. Pfaffikon, Switzerland: Trans Tech Publications Ltd.
- Montgomery D. (2006). *Regresión lineal*. México: Compañía Editorial Continental.
- Negocios, Pro México, (2015), The Mexican Automotive industry: Leading the world, Mexico City, Ministry of Economy. Recuperado de: <http://www.promexico.gob.mx/documentos>
- Negocios, Pro México, (2019), The Mexican Automotive industry: Leading the world, Mexico City, Ministry of Economy. Recuperado de: <http://www.promexico.gob.mx/documentos>
- Niebel, B. & Freivalds, A. (2014). *Ingeniería Industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo (13ª Ed)*. México: McGrawHill.
- Palella S. y Martins F. (2006). *Metodología de la investigación cuantitativa*, Caracas: Editorial FEDUPEL
- Parmenter D. (2007). *Key performance Indicators, Developing, Implementing, and Using Winning KPIs*, United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Patel N. (2015). *Reduction in product cycle time in bearing manufacturing Company*, International Journal of Engineering Research and General Science Volume 3, p.p 466
- Pérez, C. (2002). *Matlab y sus aplicaciones en las ciencias y la Ingeniería*. Madrid. España: Pearson Educación.
- Pro Mexico, (2017). The mexican automotive Industry: Leading the world, State of Industry, Mexico Business Publishing. Recuperado de: <http://www.promexico.mx/>
- Rekiek, B. and Delchambre, A. (2006). *Assembly Line Design The Balancing of Mixed-Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithms*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg

- Scholten, B. (2009). *MES Guide for Executives: Why and How to Select, Implement, and Maintain a Manufacturing Execution System*. United States of America: International Society of Automation
- Simul 8 Corporation (2012). More than a Cycle? What you need to know about cycle times. Recuperado de: [https://www.simul8.com/manufacturing/More\\_than\\_cycle](https://www.simul8.com/manufacturing/More_than_cycle)
- Stefan Voss, S. and Woodruff. D. *Introduction to Computational Optimization Models for Production Planning in a Supply Chain*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg
- Suerie, C. (2005). *Time Continuity in Discrete Time Models New Approaches for Production Planning in Process Industries*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg
- Swiecki B y Maranger D. (2016). The Growing Role of Mexico in the North American Automotive Industry, Trends, Drivers and Forecasts, Boardwalk: Michigan, CAR (Center for Automotive Research).
- Talbi, G. and Yalaoui F. (2016). *Metaheuristics for Production Systems*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg
- Tetzlaff, U. A. W. (1990). *Optimal design of flexible manufacturing systems*. Berlin, Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg.
- Vogel, J. and Stolletz R. (2021). *Anticipation of Future demand changes in capacity planning: The inverse Capacity Boost. Berlin Germany: Chair of Production Management, University of Mannheim*.
- Yerasi p. (2001). Productivity improvement of a manual assembly line (Master of Science), office of graduate studies of texas a&m university,texas.
- W. Bin. (2005) *Handbook of Manufacturing and Supply Systems Design*. New York, United States of America:Taylor & Francis