

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO**



**PERFIL LOGÍSTICO DE VOLKSWAGEN DESDE LA PRODUCCIÓN**

**TRABAJO DE GRADO**

**SEBASTIÁN AUGUSTO SALAZAR BUSTAMANTE**

**JUAN DAVID RONCANCIO BARÓN**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2016**

**UNIVERSIDAD DEL ROSARIO**



**PERFIL LOGÍSTICO DE VOLKSWAGEN DESDE LA PRODUCCIÓN**

**TRABAJO DE GRADO**

**SEBASTIÁN AUGUSTO SALAZAR BUSTAMANTE  
JUAN DAVID RONCANCIO BARÓN**

**JAIME ANDRÉS CASTAÑEDA ACEVEDO, PH.D.**

**ADMINISTRACIÓN EN LOGÍSTICA Y PRODUCCIÓN**

**BOGOTÁ, D.C.**

**2016**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>GLOSARIO</b> .....	5
<b>RESUMEN</b> .....	6
<b>Palabras clave</b> .....	6
<b>ABSTRACT</b> .....	7
<b>Key words</b> .....	7
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	8
<b>1.1 Propósito de la misión</b> .....	9
<b>1.2 OBJETIVOS</b> .....	10
<b>1.2.1 Objetivo general</b> .....	10
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	10
<b>2. DIAGNOSTICO DEL OBJETIVO DE ESTUDIO</b> .....	10
<b>3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	15
<b>3.1 Teoría de colas</b> .....	16
<b>3.1.1 Componentes de un sistema de colas</b> .....	16
<b>3.1.2 Parámetros de un sistema de colas</b> .....	17
<b>3.1.3 Estructuras de colas</b> .....	18
<b>3.2 Capacidad</b> .....	19
<b>3.3 Puesto de trabajo</b> .....	21
<b>3.4 Productos</b> .....	23
<b>3.5 Layout</b> .....	24
<b>3.6 Single Minute Exchange of Die (SMED)</b> .....	27
<b>3.7 Push y Pull</b> .....	28
<b>4. ASPECTO METODOLÓGICOS</b> .....	29
<b>5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS HALLAZGOS REALIZADOS</b> .....	30
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	39
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	42

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Factores de un Sistema de Filas (fuente: Chase et al. (2009)).....	18
Figura 2. Estructura de las Filas (fuente: Chase et al. (2009)).....	19
Figura 3. Ecuaciones para calcular la eficiencia de la línea y el mínimo de estaciones (fuente: Russelle y Taylor III (2011)).....	26
Figura 4. Ecuación para calcular tiempo deseado del ciclo (fuente: Russelle y Taylor III (2011)) .....	26

## GLOSARIO

**Personal:** Conjunto de las personas que trabajan en un mismo organismo, dependencia, fábrica, taller, etc.

**Suministrar:** Proveer a alguien de algo que necesita.

**Teoría de colas:** Metodología cuantitativa que estudia los tiempos de espera de un sistema, los factores que están relacionados con los tiempos y las capacidades de trabajo para que el sistema no colapse.

**Layout:** Disposición de actividades, estaciones de trabajo, áreas de almacenamiento y procesos, entre otros.

**Puesto de trabajo:** Espacio físico donde se realiza un trabajo, organizado y diseñado para una tarea específica.

**Sistema *push*:** Sistema en el cual la planeación aumenta la producción, lo que genera inventarios y pronósticos de mediano y largo plazo.

**Sistema *pull*:** Sistema en el cual la demanda determina cuánto se debe producir. Generalmente los lotes de producción son pequeños, impidiendo que se alcancen economías de escala.

## RESUMEN

Este análisis muestra detalladamente la línea de producción de la planta de Volkswagen, ubicada en México en el estado de Puebla. Se describe la capacidad operativa utilizada para satisfacer la demanda de la planta de producción de automóviles más grande de Latinoamérica, siendo clave para mantenerse en el mercado con estándares de calidad altos y contribuir al desarrollo de la economía del país. Asimismo, a nivel regional, esta planta se abastece de proveedores estratégicos ubicados en una zona cercana, ayudando a disminuir costos de transporte de piezas y tiempos de respuesta. Inicialmente se realiza una breve descripción del entorno económico de la empresa a nivel regional y del sector a nivel global para hacer énfasis en lo competitivo que es el mercado de la producción de automóviles. Posteriormente se describe la finalidad que tiene esta misión empresarial soportada por la Universidad del Rosario, donde se afianzan conocimientos importantes sobre un mercado de talla mundial. El siguiente aspecto es un diagnóstico de la empresa, donde se dan a conocer las marcas que hacen parte del grupo Volkswagen y la situación financiera que refleja la marca desde el 2012, revelando los ingresos obtenidos durante el período 2012-2014, gastos operacionales y factores que no se destacan positivamente como un flujo de caja negativo para el 2014. Posteriormente se plasman los conceptos teóricos necesarios para que el lector comprenda las variables inmersas en una planta de producción, destacando la teoría de colas y el diseño del *layout* de la empresa. Finalmente, se da una descripción detallada del proceso de producción en esta planta, donde se muestra la línea de producción, el ensamble y la importancia de un sistema operativo interno que depende principalmente de una alta inversión de tecnología e ingeniería que permite obtener un mayor beneficio en cada etapa del proceso.

### **Palabras clave**

Ensamble, capacidad, calidad, estación de trabajo, tiempos de proceso, planeación, cadena de suministro, almacenamiento.

## **ABSTRACT**

This analysis shows the production line of the Volkswagen`s plant located in Mexico in the state of Puebla. We describe the operational capacity used to satisfy the demand of the biggest production plant of automobiles in Latin America, which is important to stay in the market with high standards in quality and contribute with the development of the economy in this country. Likewise, at regional level this plant is supplied by strategic suppliers located nearby to decrease costs in the transport of pieces and lead times. First we provide a short description of the economic environment of this enterprise at regional level and the situation of this company worldwide, emphasizing the competitiveness of the market of automobiles. Following, we describe the current situation of Volkswagen, talking about the different brands of the company and the financial situation between 2012 and 2014. We focus on the most important indicators like revenue, income and expenses and mention also other indicators like the free cash flow that does not have a good performance. We then explain the theoretical concepts in order to understand the variables that are present in a production plant, highlighting queueing theory and the design of the layout. Finally, we provide a detailed description of the production process, showing the process in the line of assembly and the importance of investment in high technology and engineering which allow for a greater benefit at every stage of the process.

### **Key words**

Assembly, capacity, quality, work station, time of process, planning, supply chain, storage.

## 1. INTRODUCCIÓN

Puebla es uno de los principales estados de México ya que alberga aproximadamente 6'200.000 habitantes y representa el 3,2% del PIB mexicano. El mayor aportante a su PIB es la industria manufacturera, con el 22,4%. Entre los sectores que tienen mayor participación en la economía de México se destaca el sector automotriz. Al cierre del 2015 el país se ubicó en el séptimo lugar de productores mundiales de vehículos ligeros.

El constante desarrollo del sector ha causado la expectativa de anuncios e inversiones para la llegada de nuevas marcas como: Audi, Mercedes Benz, BMW e Infiniti, las cuales fabricarían desde México para el resto del mundo. Actualmente las plantas de producción del sector automotriz que se destacan son: Volkswagen, en Puebla, y Nissan, que tiene dos plantas de producción en Aguascalientes. La industria automotriz cerró el año 2015 con una balanza comercial superavitaria de aproximadamente USD 50,000 millones y logró un índice de ventas internas de alrededor de 1'300.000 vehículos (Expansión, 2015). Por esto es vital analizar, comprender y dar a conocer los aspectos claves que permiten a estas plantas de producción mantenerse con volúmenes de fabricación elevados.

La Misión Empresarial, apoyada por la Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario y dirigida especialmente al Programa de Administración en Logística y Producción, nos permitió visitar la planta de producción y ensamble de Volkswagen y otras empresas como: Bimbo (Veracruz), Grupo Modelo (México Distrito Federal) y el puerto de Veracruz. Esto nos permitió ampliar el panorama de conocimientos prácticos y poderlos aplicar en la empresa objetivo de este estudio, que es la planta de producción de Volkswagen en México.

Volkswagen tiene presencia en el estado de Puebla desde octubre de 1967. La planta inició producción con un Volkswagen sedán, el famoso Beetle o “escarabajo”, reconocido por su participación en la segunda guerra mundial, buen desempeño y relación beneficio-costos (Garamendy y Martínez, 2016). Actualmente, la planta produce tres referencias de vehículos (Jetta clásico, Golf y Beetle) y está en preparación para comenzar a producir la Volkswagen Tiguan. A pesar de los incidentes medioambientales, sobre los cuales la información es restringida, los directores de esta marca trabajan de manera extensiva en mejorar su impacto ambiental. La marca se sigue posicionando como una de las marcas más reconocidas a nivel



mundial no solo por su historia sino también por su calidad, diseños innovadores y referencias de vehículos tanto para ciudad como adaptaciones para pistas de carreras.

Este proyecto tiene como finalidad la realización de un análisis descriptivo de la línea de producción de vehículos que se maneja en Puebla. Cada una de las etapas de este proceso estará expuesta en otro apartado de este texto, procurando abarcar la mayor cantidad de variables posibles de manera precisa, ya que la cantidad de elementos inmersos en la línea de producción de esta planta es extensa. La visita dirigida por trabajadores capacitados se realizó en una camioneta Volkswagen destinada exclusivamente para el tránsito entre las naves (etapas del proceso de producción). Esto permitió recorrer la línea de ensamble de manera general y conocer las etapas y características más importantes del ensamble de un vehículo.

### **1.1 Propósito de la misión**

La finalidad de este trabajo es profundizar en conceptos relacionados con la producción y el diseño de la cadena de ensamble de un producto, donde confluyen conceptos relacionados con la estructura de flujo de procesos, talleres de trabajo, producción por lotes y la secuencia de la línea de ensamble, entre otros. El caso a abordar es la planta de ensamble de Volkswagen en el estado de Puebla, México.

Los conocimientos que se podrán afianzar están relacionados con los aspectos involucrados en un proceso de elaboración de un producto de consumo masivo. Se podrá hacer un mayor énfasis en el tipo de producción que utiliza una empresa de talla mundial y también se determinará el tipo de diseño de los procesos. ¿Están enfocados al producto o al proceso? ¿Se usa una tecnología de grupo/manufactura celular (Gaither y Frazier, 2000)? Igualmente, se analizarán las líneas de ensamble para determinar los recursos y los procesos claves para que sus operaciones sean exitosas. También se analizará cómo se maneja el MRP, los estándares de calidad mínimos y controles respectivos, y la determinación de turnos de trabajo, entre otros. También se podrán conocer las tecnologías que utilizan para automatizar los procesos productivos y así tener mayor flexibilidad y disminuir costes (Sánchez, Camarero y Barcala, 2006). Finalmente, se analizará cómo la creación de un nuevo producto y sus requerimientos de mercadeo afectan la producción de la planta (Bello, 2006).

Así, se conocerá con cierto nivel de detalle cómo se maneja la producción en una planta de talla mundial, profundizando en teorías y/o conceptos que se han visto durante el Programa y cómo estos son utilizados por una empresa para posicionarse como una de las compañías más eficientes en Latinoamérica.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Describir y analizar el proceso productivo de Volkswagen México a través de una visitada guiada en su planta ubicada en Puebla.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar las distintas etapas de producción que se encuentran en las líneas de ensamble del Volkswagen Golf y el Volkswagen Jetta.
- Analizar y contrastar con la teoría para determinar el tipo de producción que utiliza la planta de Volkswagen en Puebla.
- Identificar mejoras que se hayan implementado en los procesos de ensamble de las líneas del Volkswagen Golf y el Volkswagen Jetta.
- Plantear posibles oportunidades de mejora en un proceso de líneas de ensamble.

## **2. DIAGNOSTICO DEL OBJETIVO DE ESTUDIO**

Volkswagen es una multinacional alemana que hace parte del grupo Volkswagen. Fue fundada en 1937 por Ferdinand Porsche en Wolfsburg, Alemania, y actualmente tiene a Hans Potech como Chairman y CFO y a Matthias Mueller como CEO. Dentro del grupo Volkswagen se encuentran un gran número de marcas que hacen que esta empresa sea una de las más

importantes en el sector automotriz, con unos ingresos de USD 246.087 millones en 2014 (Hoovers, S.F.). Las marcas que hacen parte de este grupo son:

- Audi
- Bentley
- Bugatti
- Lamborghini
- Porsche
- SEAT
- Skoda
- Scania
- Man
- Volkswagen
- Volkswagen Truck and Buses
- Ducati
- Italdesign Guigiaro

La actividad primaria de Volkswagen está basada en la producción y ensamble de automóviles, autobuses y camiones. Esta empresa está catalogada como el mayor fabricante de automóviles en Alemania y la segunda a nivel mundial con una producción de 10,14 millones de vehículos en 2014, solo superada por el grupo Toyota con una producción total de 10,23 millones de unidades (Ibáñez, 2015). La empresa cuenta con más de 592.586 empleados distribuidos a través de los cinco continentes.

Al tener operaciones en los cinco continentes y ser uno de los referentes de la industria automotriz, Volkswagen tiene diferentes competidores con los cuales lucha por mayores cuotas de mercado. Los principales competidores de esta empresa alemana son:

- Bayerische Motoren Werken AG
- Daimler AG
- FCA US LLC
- Ford Motor Company
- Fuji Heavy Industries Ltd
- General Motors Company

- Honda Motor CO, LTD.
- Isuzu Motors Limited
- Mazda Motor Corporation
- Nissan Motor CO, LTD.
- Peugeot SA
- Renault
- Susuki Motor Corporation
- Toyota Motor Corporation

Para poder cumplir con todos sus objetivos y entregar un producto de calidad al cliente final, Volkswagen México se ha ingeniado una misión, una visión y unos principios que guían todas las acciones que se llevan al interior de la organización con el único fin de ser un referente (Volkswagen, S.F.). La misión de esta empresa es:

“Entusiasmar a nuestros clientes en todo el mundo con automóviles innovadores, confiables y amigables con el medio ambiente, así como con servicios de excelencia, para obtener resultados sobresalientes”. La visión de esta empresa es:

- “Somos una empresa exitosa que genera utilidades de manera sustentable”.
- “Somos líderes en el mercado mexicano, logrando satisfacer y retener al cliente ofreciendo un servicio excelente”.
- “Somos competitivos y confiables en el desarrollo y la producción de vehículos y componentes”.
- “Somos un socio comercial atractivo para proveedores y concesionarios estableciendo con ellos relaciones sustentables”.
- “Somos un equipo de colaboradores competentes, comprometidos y satisfechos”.
- “Contamos con procesos innovadores, confiables y transparentes, enfocados a una calidad excelente y la satisfacción de nuestros clientes”.

Igualmente, para poder cumplirle al cliente con todas sus necesidades, Volkswagen tiene tres principios básicos con los que le entrega valor a todos sus *stakeholders* y con los que es responsable ambientalmente:

- “Orientación a la mejora continua de nuestros procesos”.

- “Cumplir con los requisitos nacionales, internacionales y el grupo Volkswagen en materia de: Calidad en los productos y servicios, prevención de la contaminación ambiental, seguridad y salud laboral”.
- “Fomentar una actitud de excelencia en todos nuestros colaboradores y socios comerciales”

En cuanto a los productos que ofrece Volkswagen existen una gran variedad de diseños y tipos de vehículos para satisfacer diferentes tipos de clientes. Dentro de sus marcas más destacadas podemos encontrar el Volkswagen Gol, Volkswagen Beattle, Volkswagen Jetta, la camioneta Volkswagen Amarok y el Volkswagen Golf, entre otros.

La empresa Volkswagen ha demostrado que su situación financiera es bastante estable. Desde el 2012 y hasta el 2014 la empresa obtuvo ingresos por más de USD 230 millones en promedio. En 2012 la empresa obtuvo un total de USD 254.621 millones en ingresos, con un margen de ganancia de 11,3 %. En 2013 la empresa tuvo un aumento porcentual en la facturación del 6,5%; se obtuvieron ingresos por USD 271.199 millones y un margen de ganancia de 4,6%. En 2014 Volkswagen registró unos ingresos por más de USD 246.000 millones. El margen de ganancias fue de 5,4%. Aunque los ingresos fueron menores a otros años, la organización redujo sus gastos de administración y marketing en un 10,7%, pasando de tener USD 36.539 millones en gastos a solo USD 32.980 millones.

En cuanto a los flujos de caja o *cash flow*, Volkswagen no ha tenido los resultados más beneficiosos. En 2014 obtuvo resultados negativos en este indicador financiero, lo que le ha impedido hacer inversiones en investigación y generar ganancias a sus *stakeholders*. Para este mismo año la empresa reportaba una deuda en los dividendos a pagar por más de USD 2.380 millones. En los dos anteriores la empresa también obtuvo resultados negativos en el pago de los dividendos por valores similares a los del 2014 (Hoovers, S.F.). Para mayor información sobre los estados financieros de esta empresa remitirse al Anexo1.

Por otro lado, la operación productiva de Volkswagen cuenta con cuatro etapas principales que serán descritas a lo largo de este trabajo con mayor detalle. La primera etapa es la de estampado de las láminas de metal que irán moldeando la forma del automóvil. En esta etapa se utilizan unas máquinas de prensado que diseñan techos, puertas, costados y en general todo lo que soporta el vehículo. En la segunda etapa se realiza la construcción de la carrocería. En esta etapa se unen todas las piezas que han sido estampadas anteriormente para crear el armazón del

vehículo, con el que los ingenieros y operarios podrán trabajar y dar como resultado el automóvil que todos conocemos. En la planta de Volkswagen México cuentan con una de las áreas de mayor desarrollo tecnológico para crear productos con los más altos estándares de calidad. Para lograr esta calidad en los procesos de pegado, atornillado y la unión de piezas que hacen parte de la carrocería se ha implementado un proceso de soldadura láser que mejora la operación y reduce los tiempos muertos y/o cuellos de botella.

En la tercera etapa se realiza todo el proceso de pintura de la carrocería, en el cual se aplica el color a través de unos brazos robóticos KUKA de la más alta calidad. En este proceso primero son lavadas las carrocerías para luego aplicarles el primer sellado y *filler*. Posteriormente se toman las carrocerías y se les baña en una capa de barniz para que tengan un brillo excepcional, y finalmente se ponen en un proceso de secado para que las capas de los procesos anteriores queden bien fijas a la pintura y no se note ningún tipo de desgaste en un largo tiempo.

En la cuarta y última etapa se realiza el proceso de montaje una vez que la pintura de la carrocería está totalmente seca. Este es uno de los procesos más importante pues involucra el trabajo manual de varios operarios a través de una línea de ensamble. Se montan piezas como el tren motriz, los asientos, los juegos de luces, las ventanas, las llantas, el tablero de instrumentos y los interiores en general. Para lograr un resultado óptimo el diseño del ensamble de los carros está pensado para que se pueda obtener una secuencia adecuada en la unión de las partes y que no afecte el trabajo de etapas anteriores de la línea. Finalmente, el carro es puesto a prueba para determinar si tiene filtraciones al interior y se realiza una prueba de conducción en una ruta que contiene baches que exigen a la suspensión, la transmisión y el frenado, realizada por pilotos de Volkswagen para certificar que el vehículo cumple con los estándares de calidad.

El programa de impacto que está manejando Volkswagen tiene como nombre “*Think Blue*”. Este programa empieza por proponerse ser líderes en materia ecológica de la industria a nivel mundial para el 2018. Desde hace varios meses plantearon reducciones en Agua-Residuos, Energía, CO<sub>2</sub> y Compuestos Orgánicos Volátiles. Esta reducción traería un impacto positivo para los indicadores ambientales y así medir la mejora en residuos por auto y por componente. En la página de Volkswagen México hay dos componentes importantes para generar conciencia y evidenciar lo que hace la marca por mejorar su impacto en el mercado: “conciencia ecológica” y “cooperación e iniciativas”. En ellos se dan consejos que procuran hacer que el conductor tenga

presente las consecuencias de acciones típicas del día a día y se brinda información para que el mundo entero esté al tanto de los aspectos que Volkswagen apoya a favor del medio ambiente. Entre las iniciativas que tiene la marca se encuentran varios proyectos que se enfocan en:

- Restaurar el equilibrio natural (Proyecto Sierra Lobos).
- Conservar mantos acuíferos (Proyecto Itza-Popo).
- Sembrar un ambiente inspirador (Proyecto Vivero).
- Procesos de producción más amigables con el medio ambiente (Proyecto Eólico).
- Acciones que benefician el equilibrio ambiental (Proyecto Eco Chavos).
- Cuidar lo verde, que es pensar en azul (The Beetle Immersion).
- Emprendiendo acciones a favor del planeta (Amor al Planeta).

### **3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

En este punto profundizaremos sobre las distintas teorías y conceptos que serán relevantes para poder comprender el funcionamiento de la planta de producción de Volkswagen, consultando diferentes fuentes que nos darán una mayor perspectiva sobre los requerimientos que debe tener una compañía como esta para poder tener un sistema de producción de talla mundial. Dentro de los conceptos que se trabajarán está la teoría de colas, sus componentes, parámetros y estructuras de los diferentes sistemas. Para nuestro trabajo esta teoría es bastante importante ya que nos permite entender cómo esta empresa tiene organizada la producción para evitar excesos en los tiempos de espera y excesos en las capacidades de las distintas estaciones de trabajo para evitar un colapso en el sistema. Igualmente se hablará de la capacidad que pueda tener una planta, esto con el fin de entender qué tanto se puede producir y lograr comprender una de las restricciones más importantes que puede llegar a tener una planta de producción.

Para lograr tener una planta de producción con altos estándares de competitividad y productividad se deben tener en cuenta más factores que serán determinantes para lograr alcanzar estándares de nivel mundial. Por esto también se profundizará en las teorías que están planteadas alrededor del diseño del puesto de trabajo, que permite que los trabajadores tengan que hacer menos movimientos y conduce a una reducción de los tiempos entre cada puesto y un aumento

en los productos terminados. Para nuestro caso en concreto, conocer más sobre esta teoría nos permitirá analizar con una mayor profundidad la lógica en la que todo está organizado en la planta de Volkswagen. A su vez también se hablará del *layout* óptimo dependiendo de la naturaleza del negocio para que una empresa pueda producir sus productos optimizando la capacidad y el tiempo de producción. Igualmente es importante tener en cuenta el tipo de producto para poder diseñar el *layout* y el tipo de producción que se realizará, por lo que también se consultarán fuentes correspondientes y entender el tipo de *layout* y la forma en que se producen los productos de Volkswagen.

### **3.1 Teoría de colas**

Uno de los grandes problemas que ha tenido que enfrentar la rama de la administración son los tiempos de espera previos a recibir un servicio. Para resolver esto muchos académicos han desarrollado teorías que han permitido mejorar los tiempos de espera y reducirlos hasta llegar a un punto donde los procesos utilizan la menor cantidad de tiempo entre estación y estación. La teoría de colas o análisis de filas tiene sus inicios en un artículo publicado por el matemático danés Agner Krarup Erlang (Erlang, 1909), en el cual analiza el tráfico telefónico, demostrando que este sigue una distribución *Poisson*.

#### **3.1.1 Componentes de un sistema de colas**

Richard B. Chase, F. Robert Jacobs y Nicholas J. Aquilano, en su libro *Administración de Operaciones: Producción y Cadenas de Suministro* (Chase et al., 2009), trabajan teoría de colas pero bajo el nombre sistema de filas. Allí los autores comentan que existen tres tipos de componentes básicos con los que debe contar un sistema de filas. El primer componente hace relación a cómo la población fuente de cualquier tipo entra al sistema. El segundo componente es la interacción del sistema con la población fuente, cómo se relacionan y cómo funciona la relación entre estos dos factores. El tercer componente hace relación a cómo la población sale del sistema y continúa hacia otros procesos (Chase et al., 2009).

En el primer componente (entrada de los clientes a los sistemas) existen dos tipos de poblaciones fuentes: finitas e infinitas. Una población finita se refiere a un número limitado de



componentes que entrarán al sistema. En las poblaciones infinitas es más difícil calcular las probabilidades de llegada, pero el comportamiento será más estable en el largo plazo. El análisis de los sistemas diferirá según el tipo de población (Chase et al., 2009).

### **3.1.2 Parámetros de un sistema de colas**

Por otro lado, existen muchos factores dentro de los sistemas de filas que vale la pena analizar en detalle. Chase et al. (2009) señalan que existen tres factores relativos a las características del sistema y su administración. El primer factor es la longitud de la fila, donde se determina si es finita o infinita; el segundo es el número de líneas, que puede ser única o múltiples; y por último se encuentra la disciplina de la fila, que establece las reglas de servicio (Chase et al., 2009).

Cuando se habla de una longitud finita se refiere a un sistema que tiene capacidades estructurales restringidas por espacio físico o restricciones legales que pueden afectar todo el sistema. Por el contrario, existen longitudes infinitas donde no existen las restricciones anteriormente descritas. En cuanto al número de líneas, las líneas múltiples pueden representar problemas en el sistema si los componentes se están pasando de una línea a otra sin un orden establecido. En la disciplina de la fila se hace referencia a la regla o el conjunto de reglas que permite ordenar la manera en la que se brinda el servicio a los elementos que están entrando en el sistema. Existen reglas como la PEPS, que significa “primeros en entrar, primeros en salir” (FIFO –first in, first out– en inglés), aunque también se puede programar la disciplina según la urgencia (Chase et al., 2009). La *Figura 1* muestra los factores de un sistema de filas.



Figura 1. Factores de un Sistema de Filas (fuente: Chase et al. (2009))

### 3.1.3 Estructuras de colas

Chase et al. (2009) señalan que existen cinco tipos de estructuras en las que se puede mover un elemento a través de una fila, las cuales dependen de la naturaleza del negocio. En la *Figura 2* se puede ver gráficamente lo que se expone continuación.

- Canal único, fase única: Este tipo de estructura es considerado como el más sencillo y en esta se espera resolver cualquier problema de los patrones de llegada y servicios con un tipo de distribución estándar. Esto se logra aplicando fórmulas simples, pero si el problema es mucho más complejo la solución se puede aproximar a través de simulaciones de computadora, utilizando por ejemplo el software ProModel.
- Canal único, fases múltiples: Los canales únicos de fases múltiples se caracterizan por ser secuencias uniformes constituidas por líneas separadas de espera.
- Canales múltiples, fase única: Este canal representa un formato donde el tiempo es asimétrico en cada proceso, brindando una velocidad o flujos asimétricos en las filas y ocasionando procesos terminados a destiempo.

- Canales múltiples, múltiples fases: Se asemeja mucho al anterior, diferenciándose en que se trabaja con dos o más secuencias de servicios, generando una mayor producción que luego será transformada en ganancias para el negocio.

- Mixto: En este tipo de canal se encuentran dos subcategorías que ayudan a tener un mayor entendimiento del sistema: estructura de múltiples canales a uno y ruta de estructuras alternas. En la estructura de múltiples canales a uno se encuentran dos sub categorías. fase única y fases múltiples. En la primera se tiene solo un proceso y en la segunda se tienen más fases. En las rutas de estructuras alternas las fases no tienen una precedencia clara, por esto este proceso no tiene una estructura rígida y permite una mayor flexibilidad.

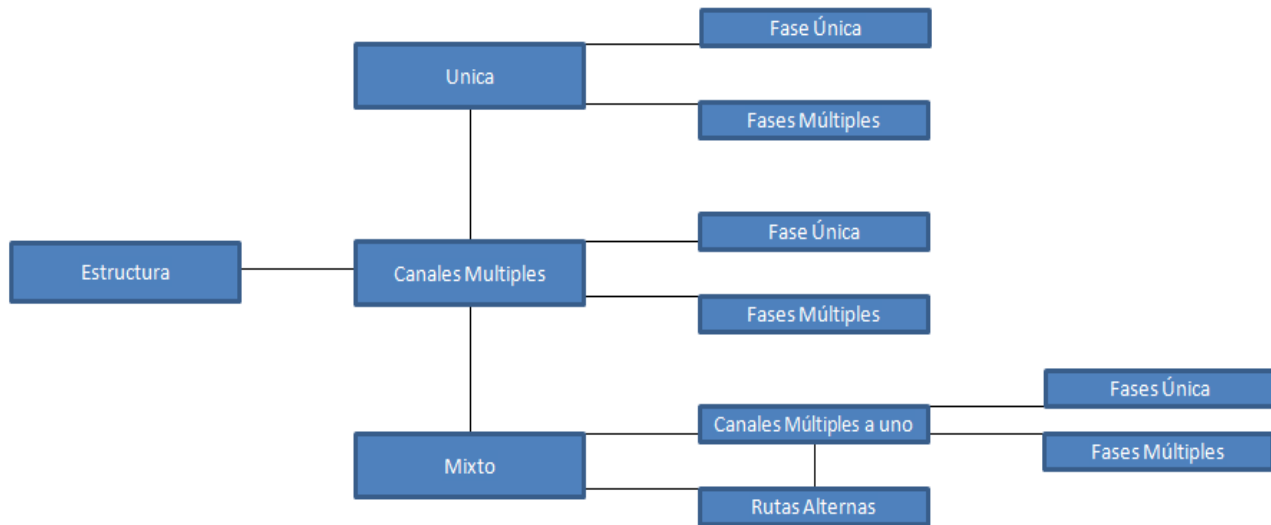


Figura 2. Estructura de las Filas (fuente: Chase et al. (2009))

### 3.2 Capacidad

La capacidad es un elemento importante a la hora de hablar sobre líneas de producción pues una planta de producción como una de automóviles se planea según la demanda del mercado. La capacidad de producción es un factor indispensable para generar un buen cubrimiento a nivel global. La medida real de la capacidad de una planta de gran tamaño resulta difícil de calcular debido a las variaciones cotidianas que puede tener una operación. Algunos ejemplos de esto son (Everett y Ronald, 1991):

- La ausencia espontánea de empleados.
- Retrasos en tiempos de llegada del personal.
- Reparaciones en máquinas.
- Modificaciones en productos (tipo de producto que se está ensamblando).
- Tiempos muertos por mantenimientos (variables si son preventivos o necesarios por un mayor desgaste).
- Vacaciones programadas.

Teniendo en cuenta estas variables, la capacidad de una planta rara vez puede ser medida en términos precisos, por lo que los datos que arrojen análisis de líneas de producción deben ser interpretados de manera cuidadosa. Así como existen casos en los cuales medir la capacidad de operación o producción de una planta es difícil, existen casos en los que se puede realizar esta medición de manera más fácil y acertada. Las medidas de producción pueden ser de procesos relativamente simples como la producción en masa de queso o complejos como la producción de automóviles de una planta de gran envergadura.

J. R. Tony Arnold, Stephen N. Chapman y Lloyd M. Clive señalan, en su libro *Introduction to Materials Management* (Arnold et al., 2008), que los componentes principales para planear y controlar la producción se basan en un plan estratégico de negocios, un plan de producción, un calendario para el plan de producción, un requerimiento de materiales y un control de compras y producción. De esta manera, cada componente puede variar según la actividad de cada empresa.

Por otra parte, la ubicación de una planta de producción puede requerir de ciertos análisis y factores que influyen en su ubicación. Algunos de estos son:

- Elección de proveedores (donde se procura que sean regionales para impulsar la economía del país).
- Puntos de venta estratégicos en los distintos estados del país donde se tiene la planta.
- Buen manejo de los suelos (permisos ambientales).
- Fácil acceso de camiones (niñeras o camiones adaptados especialmente para el transporte de vehículos).

Los factores indicados anteriormente pueden permitir tiempos de respuesta óptimos para las necesidades del mercado como negociaciones especiales o lotes especiales, que cobran

especial importancia cuando las empresas automotrices tienen referencias de vehículos que son denominadas “series limitadas”, donde se manejan cantidades reducidas en inventario.

Otro concepto implícito en la planeación de producción de automóviles es el desarrollo de productos, que se da como una necesidad a los mercados cambiantes y con alta competencia. En el caso de las marcas de carros, la competencia se basa en ofrecer la mayor calidad, con la mejor tecnología y confort al menor precio. Así, cuando una marca hace un lanzamiento con un elemento innovador, las demás marcas procuran copiar e incluso mejorar este elemento en un lapso corto de tiempo para no perder participación en el mercado. La información para tener un impacto positivo con los cambios en los productos proviene de fuentes como el área de mercadotecnia, el personal de producción y el departamento de ingeniería, investigación y desarrollo, para llegar a un resumen con propuestas de todos los empleados de la compañía según las necesidades de los clientes (Everett y Ronald, 1991).

### **3.3 Puesto de trabajo**

Para poder lograr una producción eficiente y tener la capacidad de poder afrontar y suplir la demanda del mercado, es necesario considerar varios factores que permitirán una operación mucho más eficiente y eficaz. En el diseño del puesto de trabajo, Chase et al. (2009) encontraron ciertas tendencias que afectan el diseño del mismo. Por ejemplo, se pueden encontrar problemas al ejercer un control de calidad sobre el puesto de trabajo porque en algunos procesos no se le puede dar una trazabilidad adecuada al proceso y no se puede determinar en qué puntos se están causando las pérdidas. Otro aspecto a tener en cuenta es la capacitación que deben tener los trabajadores para poder desempeñar de una manera adecuada sus labores. Hoy día es común que se les demande múltiples habilidades a los operarios para que puedan desarrollar varias actividades en vez de una, lo que afecta el diseño del puesto de trabajo (Chase et al., 2009).

Otra característica que puede llegar a afectar el diseño del puesto es la falta de oportunidades que se le pueden presentar al trabajador y el sentido de satisfacción que le pueda generar al mismo. Es importante crear elementos que puedan permitir un estado de satisfacción en los empleados y una seguridad al estar trabajando para cualquier empresa. Igualmente, la creación de centros de trabajo alternativos como las oficinas virtuales o las oficinas compartidas

puede requerir consideraciones adicionales en comparación con una estación de trabajo tradicional (Chase et al., 2009).

Chase et al. (2009) también señalan que se deben tener en cuenta tres tipos de consideraciones conductuales para diseñar un puesto de trabajo. La primera de estas consideraciones está relacionada con el grado de especialización laboral que debe tener un empleado para desempeñarse de la manera correcta. La segunda es el enriquecimiento del trabajo. Por último están los sistemas sociotécnicos, que abarcan interacciones entre grupos de trabajo y herramientas tecnológicas.

Según los autores, el grado de especialización laboral puede ser un arma de doble filo ya que presenta de igual manera ventajas y desventajas. Si bien la especialización laboral ha permitido tener una disminución en los tiempos de producción y una reducción de costos, también ha presentado una serie de desventajas tanto para la gerencia como para los empleados. Por ejemplo, cuando hay procesos muy estandarizados, estos tienden a ser repetitivos y monótonos, lo que deriva en una baja de la motivación que tiene un empleado, generando una reacción en cadena que repercute en la gratificación que puede sentir el empleado y el grado de frustración y fatiga que puede llegar a sentir. Esto puede acarrear costos ocultos, aumentado la rotación y el ausentismo, entre otros problemas (Chase et al., 2009). El enriquecimiento del trabajo y los sistemas sociotécnicos surgen como enfoques para afrontar estos problemas.

Cuando se habla de enriquecimiento del trabajo se habla acerca de la apropiación de las tareas y el nivel de satisfacción del trabajador. Para esto tienen que existir una ampliación horizontal y vertical del puesto de trabajo. Una ampliación horizontal hace referencia al aumento de tareas que tiene un trabajador con el fin de que pueda conocer más del negocio y lo que se hace, mientras que una vertical está más enfocada a que el trabajador pueda participar en la planeación, el control y el seguimiento de todo el trabajo que está realizando (Chase et al., 2009). Cuando se enriquece el trabajo tanto horizontal como verticalmente se espera que el trabajador tenga un sentido de pertenencia mayor en su puesto de trabajo pues se le está dando una mayor participación en todos los procesos que se llevan a cabo al interior de la organización.

Con los sistemas sociotécnicos se busca desarrollar un puesto de trabajo que permita tener en cuenta las necesidades del trabajador con los requerimientos de tecnología en un proceso productivo. Los resultados de estos tipos de sistemas pueden ser similares a los resultados que se tienen en el enriquecimiento del trabajo: al aumentar la autonomía y el desarrollo personal en los

trabajadores se obtiene una mayor productividad y a su vez una mejora significativa en la calidad de los productos terminados. Para que un sistema sociotécnico tenga un resultado positivo se deben tener en cuenta los siguientes principios de diseño de puesto: la variedad en las tareas, la variedad de habilidades, la retroalimentación que se da después de una tarea realizada, la identidad de la tarea y la autonomía de la misma (Chase et al., 2009).

Igualmente, es de gran importancia cuantificar el rendimiento de un puesto de trabajo para determinar si las tareas que se están realizando allí son significativas. Hay dos tipos de mediciones que permiten cuantificar el rendimiento de una persona en una parte del proceso: mediciones directas e indirectas. En las mediciones directas, como el estudio de tiempos, se utiliza cualquier herramienta que pueda tomar el tiempo con el fin de determinar los tiempos entre un trabajo y el otro. También existe el muestreo de trabajo, en el cual se lleva un registro de observaciones aleatorias mientras los trabajadores desempeñan sus funciones habituales (Chase et al., 2009).

Dentro de los métodos indirectos se pueden encontrar los sistemas de datos predeterminados de tiempos y movimientos (SPTM). A través de una serie de datos que están estandarizados por estudios realizados previamente se determina en promedio cuánto debería tomar el realizar cierta acción (Chase et al., 2009).

### **3.4 Productos**

Además del diseño del puesto de trabajo también se tienen que tener en cuenta otros aspectos a la hora de plantear y diseñar productos que satisfagan necesidades de bienes y servicios y abarquen la mayor cuota de mercado posible. Arnold et al. (2008) proponen ciertos principios que tratan de equilibrar las necesidades de venta y las necesidades de producir de manera económica. Ellos plantean que este equilibrio se puede alcanzar por medio de diferentes tipos de productos: simplificados, estandarizados y especializados, entre otros.

Los productos estandarizados, como su nombre lo dice, son productos que por lo general tienen un tipo de material, configuración, medidas y diseño preestablecidos. Por lo general estos tipos de productos están diseñados para lograr alcanzar una mayor cantidad de consumidores con un solo tipo de producto y economías de escala por la gran producción en masa. Por otro lado, los productos simplificados tienden a cumplir una característica sencilla,

eliminando la variedad y diseños complicados que incrementan los tiempos y costos de producción. Por último, los productos especializados buscan una concentración de esfuerzos que permita satisfacer una necesidad particular. Una producción especializada puede incrementar la productividad y disminuir costos pues reduce el número de procesos innecesarios y usa mano de obra más especializada que evita contrataciones innecesarias (Arnold et al., 2008).

De acuerdo con Arnold et al. (2008), cuando se habla de las especificaciones del diseño de un producto se deben tener dos consideraciones. Primero, el producto debe ser capaz de tener un rendimiento esperado cumpliendo con las demandas del mercado en cuanto al diseño y sus características principales. Y segundo, debe ser bajo en costo producir una unidad del producto, incluyendo la materia prima, el diseño y la mano de obra directa. Para poder cumplir con los requerimientos del mercado y la necesidad de mantener los costos lo más bajo posible se requiere fusionar el diseño del producto y el diseño del proceso. Esta combinación de diseños es denominada ingeniería simultánea y es clave para que un producto pueda triunfar en el mercado y alcanzar la rentabilidad esperada por parte de una organización (Arnold et al., 2008). Algunas de las ventajas de la ingeniería simultánea son:

- Al fusionar el diseño del producto y del proceso se puede llegar a reducir el tiempo en el que un nuevo producto llega al mercado, dejando a la competencia en una posición comprometedora.
- Los costos se pueden reducir ya que se involucran y se absorben uno o varios eslabones de la cadena de suministro en los procesos.
- La calidad de los productos terminados será mucho mejor ya que las características del mismo han sido mejoradas en los distintos procesos de diseño.

### **3.5 Layout**

El diseño del *layout* de una planta de producción busca organizar las actividades, las estaciones de trabajo, las áreas de almacenamiento y los procesos, entre otros. Esto puede conducir a grandes ventajas competitivas y puede impactar directamente la calidad de los productos y la competitividad de la empresa. Con el diseño del *layout* se espera asegurar un flujo de procesos sin interrupciones que trabaje continuamente, desde la entrada del material y personas hasta el final donde se obtiene un producto terminado con la menor cantidad de tiempo



y recursos empleados para su elaboración (Russelle y Taylor III, 2011). Un *layout* eficiente también puede garantizar:

- Los movimientos de materiales y la manipulación del producto se deben reducir, logrando una agilización entre las estaciones de trabajo.
- La utilización del espacio de la mano de obra tiende a optimizarse.
- Los canales de comunicación pasan de ser verticales a tener una forma horizontal, facilitando la interacción entre un operario y un supervisor.
- La reducción en el ciclo del abastecimiento de la materia prima y entrada al sistema, su almacenamiento, producción y posterior distribución.
- El incremento de la capacidad y flexibilidad de la producción, lo que a su vez permite una mayor adaptabilidad a cualquier cambio en el ambiente externo o interno.

Dentro del diseño de un *layout* eficiente existen varias opciones que tienen que ser analizadas dependiendo de la naturaleza del negocio. Por ejemplo, se encuentran los diseños enfocados en servicios como lo es una tienda de ropa o un restaurante. Por otro lado, también se encuentran los diseños donde la producción de un producto se da en una sola estación de trabajo; estos *layouts* se denominan “*fixed positions*” y se pueden ver en el ensamble de barcos o aviones. Por último, están los *layouts* configurados para la producción de un producto a través de una línea de ensamble. En estas líneas se tienen procesos que van en secuencia y tienen que ir en un cierto orden debido a la complejidad de las tareas que se ven involucradas durante la línea de ensamble. El orden de estas líneas está diseñado para que sean altamente eficientes y se encuentran divididas en estaciones de trabajo donde se realizan tareas de distintos índoles. Una de las grandes ventajas de estos tipos de diseños es que poseen una dificultad de uso relativamente baja para los operarios, lo que permite que pueda existir una rotación mayor de los operarios dentro de la planta. Por otro lado, una de las desventajas de este diseño es que posee un grado de flexibilidad bastante bajo, lo que resulta muy inconveniente si se tiene que producir un producto con diferentes características pues el cambio de las piezas y los moldes detendrá la producción y creará una ineficiencia en el ciclo (Russelle y Taylor III, 2011).

Otro reto que presentan las líneas de ensamble son los cuellos de botella, que pueden llegar a detener la producción y disminuir la productividad considerablemente. Es importante tener en cuenta que en estos *layouts* la materia prima tiene que irse trasladando a través de las diferentes estaciones de trabajo, asegurando que en ninguna estación vayan a faltar los insumos

necesarios y no se generen cuellos de botella que entorpezcan la producción (Russelle y Taylor III, 2011).

Para diseñar un *layout* enfocado a un producto se requiere de un análisis profundo y detallado que partirá desde el diseño de las estaciones de trabajo, sus elementos de trabajo y el balanceo de la línea, que es el ejercicio de igualar la cantidad de trabajo que hay en cada una de las diferentes estaciones de trabajo. El primer paso que se debe tener claro antes de comenzar a realizar cualquier actividad productiva es saber cuáles son todas las actividades que se realizarán por cada estación de trabajo; a esto se le denomina los elementos del trabajo. Luego se procede a trabajar sobre el balanceo de la línea; este elemento posee dos restricciones que se deben manejar adecuadamente para lograr optimizar el proceso. La primera restricción es sobre las actividades precedentes que se tienen en una línea de ensamble: muchos de los procesos productivos requieren que termine un proceso para poder proseguir al siguiente. La segunda restricción es el tiempo del ciclo, donde se mide el tiempo que se toma un producto en ser trabajado y lograr pasar de una estación de trabajo a otra (Russelle y Taylor III, 2011).

Para calcular el tiempo de ciclo deseado se debe dividir el tiempo disponible de producción entre las unidades deseadas de producto terminado. Con este resultado y la aplicación de otras fórmulas se puede obtener la eficiencia de la línea y el número teórico mínimo de estaciones de trabajo que servirá para optimizar la producción de la planta (Russelle y Taylor III, 2011). Las siguientes ecuaciones muestran las relaciones de interés:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^j t_i}{nC_a} \qquad N = \frac{\sum_{i=1}^j t_i}{C_d}$$

Figura 3. Ecuaciones para calcular la eficiencia de la línea y el mínimo de estaciones (fuente: Russelle y Taylor III (2011))

Donde  $E$  = Eficiencia,  $N$  = Número de estaciones,  $t_i$  = Tiempo de finalización para el elemento  $i$ ,  $j$  = Número de elemento de trabajo,  $n$  = Número de estaciones de trabajo,  $C_a$  = Tiempo de ciclo actual,  $C_d$  = Tiempo de ciclo deseado.

$$C_d = \frac{\text{Tiempo disponible de producción}}{\text{Unidades deseadas terminadas}}$$

Figura 4. Ecuación para calcular tiempo deseado del ciclo (fuente: Russelle y Taylor III (2011))

### **3.6 Single Minute Exchange of Die (SMED)**

Esta técnica fue diseñada por Shigeo Shingo y nace como necesidad para afrontar las demandas cambiantes del mercado. Para competir en un mercado que exige costos de producción altamente competitivos, pedidos de menor tamaño y una variedad más amplia de producto, la técnica SMED se constituyó bajo los siguientes pasos:

**1) Observar y comprender el proceso de cambio de lote:**

Se basa en hacer un seguimiento detallado de un proceso con el fin de analizar cómo se lleva a cabo y tomar el tiempo que se invierte.

**2) Identificar y separar las operaciones internas y externas:**

Las operaciones internas son las que se realizan con la máquina sin funcionamiento y las externas son las operaciones que pueden realizarse con la máquina en funcionamiento (Carbonell, 2013). Esta etapa se realiza ya que generalmente todas las operaciones están mezcladas y posteriormente se realizan como si fueran internas.

**3) Convertir las operaciones internas en externas:**

El objetivo de convertir las operaciones internas en externas es reducir los tiempos de cambio; es decir, “antes de que se realice un cambio de lote, hemos acercado un molde hasta la prensa” (Carbonell, 2013), de esta manera se resta el tiempo operacional del acercamiento del molde a la prensa y se reduce el tiempo total de cambio de lote.

**4) Refinar todos los aspectos de la preparación:**

En esta etapa se busca optimizar todas las operaciones (internas y externas), mediante una ubicación nueva de implementos o herramientas necesarias para el cambio de proceso o lote. Para las operaciones internas se implementan procesos en paralelo, de tal manera se reduce la cantidad y tiempo de ajustes.

**5) Estandarizar el nuevo procedimiento:**

Para mantener fluidez en la nueva metodología de trabajo, se realiza una documentación que se puede basar en filmaciones y/o documentos escritos (Carbonell, 2013).

### 3.7 Push y Pull

Existen dos tipos de enfoques para la planeación de la producción y del inventario que se adecuan a las especificaciones y requerimientos del entorno de una empresa: *push* y *pull* (Muñoz, 2009). El enfoque de tipo *push* se da cuando la planeación aumenta la producción, lo que genera una mayor producción y pronósticos de plazos mayores a un año. Mucho del costo de mantener todo ese inventario se compensa porque se alcanzan a tener economías de escala por los grandes lotes de producción. Este tipo de enfoque se usa más cuando se tienen demandas estacionales o se tienen previstos aumentos inesperados en algún período en particular. Sin embargo, es importante tener en cuenta que este enfoque posee una gran amenaza al ser tan variable: si llega a existir un cambio en la tendencia de la demanda se puede quedar con un exceso de inventario que aumentaría los costos y erosionaría las utilidades. Es recomendable utilizar este enfoque si se producen bienes con poca diferenciación o cuando se tiene un contrato preestablecido que asegure el flujo constante de ventas y evite acumular inventario en exceso (Muñoz, 2009).

Por el contrario, el enfoque de tipo *pull* está dado por una demanda que determina cuánto se debe producir. Generalmente los lotes de producción son pequeños, lo que impide que se alcancen economías de escala. Sin embargo, al ser muy poco lo que se produce, hay una mayor rotación del inventario evitando la obsolescencia y a su vez se generan bajos costos en almacenamiento de los productos. Este tipo de enfoque posee una mayor flexibilidad lo que permite una mayor innovación en los procesos y los productos. Esto se debe a que en este enfoque se mantiene un flujo constante de información desde los puntos de venta a los centros de distribución, permitiendo conocer exactamente lo que necesita el cliente. Sin embargo, los problemas de este enfoque están relacionados con los costos en la producción y con una posible falta de producto para lograr satisfacer las necesidades de los consumidores en temporadas especiales (Muñoz, 2009).

#### 4. ASPECTO METODOLÓGICOS

Se utilizaron dos métodos para la recolección de información. El primero fue la observación directa del proceso de ensamble. El segundo fue, en la medida de lo posible, la realización de entrevistas para obtener información un poco más detallada del proceso de producción. Con la información recolectada a través de observación directa y entrevistas se describirá el perfil logístico de la planta, haciendo énfasis en la producción y ensamble de varios de los vehículos con mayor rotación como el Volkswagen Golf y el Volkswagen Jetta, permitiendo dar una descripción detallada del funcionamiento interno de la planta.

Con el fin de hacer una recolección de información apropiada, se tenían preparadas una serie de preguntas relacionadas con los procesos estándar que se conocían y las cuales se buscaban responder a medida que se observaba el ensamble. Estas preguntas se plantearon con base en tiempos muertos, tiempos de mantenimiento y otros aspectos relevantes para la optimización del proceso productivo. Las preguntas (generales, sin tener en cuenta las que se hicieron de manera espontánea) fueron las siguientes:

- ¿Qué proceso o procesos son los considerados como “cuellos de botella”?
- ¿Qué mejoras ha tenido la planta en los últimos dos años para optimizar su línea de producción?
- ¿Cuál es la capacidad de producción (automóviles por día) en los principales procesos? (Ensamble, detallado).
- ¿Qué procesos son los más automatizados y en qué procesos aún se necesita en mayor parte intervención de los trabajadores?
- ¿De qué manera ha afectado la problemática por engaños a los controles técnicos de emisiones de gases contaminantes?, ¿cómo se está atacando?

Estas preguntas estaban enfocadas en alimentar de manera general los objetivos de este proyecto, y permitieron generar preguntas espontáneas durante el recorrido y al final del mismo para recolectar información más precisa de los procesos más importantes para describir la línea de producción. Las preguntas espontáneas más importantes fueron las siguientes:

- En el proceso de pintura, ¿pueden pintar carrocerías en varios colores sin necesidad de que sea en grandes lotes?

- En el proceso del “matrimonio” (ensamble entre la carrocería y el tren motriz), ¿cantidad de carrocerías se ensamblan por día?
- ¿Qué proyectos a mediano plazo hay actualmente en la planta?
- En las líneas limitadas o ediciones especiales, ¿cómo afecta o cambia el proceso de producción?, ¿qué naves se adaptan para estos lotes?
- ¿De qué manera Volkswagen apoya la economía local?
- ¿Qué programas de prácticas y desarrollo profesional se manejan en la compañía?

Posterior al recorrido se pudo realizar una entrevista a uno de los empleados encargados del correcto funcionamiento de la línea de producción para analizar mejor cada aspecto visto durante el trayecto y dar paso a nuevas preguntas. Adicionalmente, un empleado encargado de los procesos ambientales de la compañía enfatizó en que no solo se busca cumplir unos volúmenes de producción sino hacerlo de manera amigable con el ambiente, aún más después de la controversia que se generó a finales de 2015 con el descubrimiento del engaño a controles técnicos de emisiones de gases contaminantes.

## **5. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LOS HALLAZGOS REALIZADOS**

Para generar una idea del tamaño que tiene esta planta, basta con describir que está compuesta por más de 310 hectáreas, donde trabajan aproximadamente 15.300 personas, de las cuales aproximadamente 5.500 son personal administrativo y 9.800 trabajan en labores de producción por turnos de lunes a viernes y los sábados en uno o dos turnos dependiendo de la(s) referencia(s) que se estén ensamblando. Al manejar un número de empleados tan grande, al interior de la planta cuentan con bomberos, médicos, el comedor industrial más grande de México y un centro de idiomas para capacitar al personal y generar oportunidad de desarrollo y aprendizaje al interior de la compañía.

En la planta se ensamblan las siguientes referencias de vehículos:

- Golf: Para América.
- Beattle: Para todo el mundo. Es la única planta donde se produce este vehículo.
- Jetta: Para todo el mundo y característico por su buen desempeño y mercado amplio de accesorios para personalización interior y mejora de desempeño. El Jetta viene con

posibilidad de motores 2.5 litros de aspiración natural y la nueva versión con un motor 2.0 litros con turbocargador (el anterior tenía 200 cm<sup>3</sup> menos de cilindrada).

- Adicionalmente, en esta planta se manejan lotes exclusivos del Golf GTI R, el cual hace referencia a sus siglas en español “Gran Turismo Inyección” y la combinación con la R de Racing o carreras. Este es un vehículo con estándares altos de desempeño en pista y cuarto de milla. Debido a la exclusividad de esta referencia, rara vez se hacen lotes de la misma.

Esta marca tiene alrededor de 350 proveedores alrededor del mundo para satisfacer distintas necesidades locales, de exportación y requerimientos de la casa matriz ubicada en Alemania. La marca utiliza como proveedores estratégicos a compañías locales ubicadas cerca a los centros de producción para generar un mejor tiempo de respuesta y así enfrentar condiciones variables del mercado o de cumplimiento de pedidos.

El 85% del proceso de producción lo realizan 422 robots. El detallado es el proceso más automatizado; aun así es monitoreado para lanzar alertas ante una mínima anomalía. Las alertas son emitidas por maquinaria avanzada que incluye sensores láser. El 15% restante del proceso de producción es realizado por los operarios. El mantenimiento de cada máquina es de rigor pues de no ser así se podrían generar cuellos de botella importantes para el volumen u objetivo de producción presupuestado.

Teniendo en cuenta el tamaño de las máquinas y brazos hidráulicos que manipulan y transportan la mayoría de piezas grandes, existen piezas que son catalogadas como de “difícil manipulación”. Por esta razón se aplica un modelo bajo estaciones de trabajo operadas en su mayoría por trabajadores apoyadas en un bajo porcentaje por máquinas y evitar lesiones en procesos de corta duración.

Los empleados de Volkswagen manejan un control estándar de calidad en cada proceso activo y un control aleatorio adicional ya que una pieza que no cumpla las medidas y condiciones necesarias puede ocasionar reprocesos, retrasando la producción, e incluso problemas legales por estándares de calidad. Como parte de los estándares de calidad, encontramos que se realizan “pruebas de espacios entre piezas” para asegurarse que todo coincida. Los trabajadores con mayor experiencia en la planta son quienes guían en estos procesos a quienes están en labores de adaptación y así reducir el margen de error en estas pruebas de espacios. Aunque es realizada en mayor parte por los operarios, también hay intervención de máquinas que dan soporte a esta labor.

El proceso de producción de automóviles en la planta de Volkswagen está dividido en “naves”, las cuales son grandes bodegas que contienen cada proceso clave del ensamble de vehículos como se muestra de manera general en la *Figura 3*. Las partes fabricadas se basan en láminas galvanizadas; estas láminas entran en una máquina denominada “alimentador” que se encarga de la limpieza de esta materia para evitar componentes que alteren negativamente el proceso. Posterior a la limpieza, las láminas son moldeadas en troqueles de alta torsión Muller Weingarten (GR2) que aplican 7700 toneladas/cm<sup>2</sup> de presión para darle las curvas necesarias.

El proceso de estampado está compuesto por seis estaciones, donde las etapas más importantes son las de detallado que se hacen en las últimas tres estaciones. Dependiendo de la referencia que se esté produciendo se utilizan o no las seis estaciones completas. Bajo un modelo de disposición de inventario se logran tener existencias suficientes para la producción en línea de tres días. Gracias a este modelo, la marca puede tener una mayor holgura en una situación en la cual los proveedores no cumplan con los tiempos de entrega de materia prima o fallos en las máquinas. En cuanto a las máquinas, cada molde que se utiliza como base para el diseño de una parte moldeada por las prensas tiene un peso aproximado de 25 a 45 toneladas. Esto hace que los tiempos de mantenimiento puedan verse afectados; sin embargo, en esta planta hay un *Single Minute Exchange of Die* por cambio de molde en los troqueles de ocho minutos. Este SMED que se maneja en la planta cumple con los requisitos de la teoría SMED ya que son tiempos menores a 10 minutos por cambio de pieza, asegurando un tiempo adecuado de cambios de piezas para reducir desperdicios, tanto de producto como de tiempos muertos.



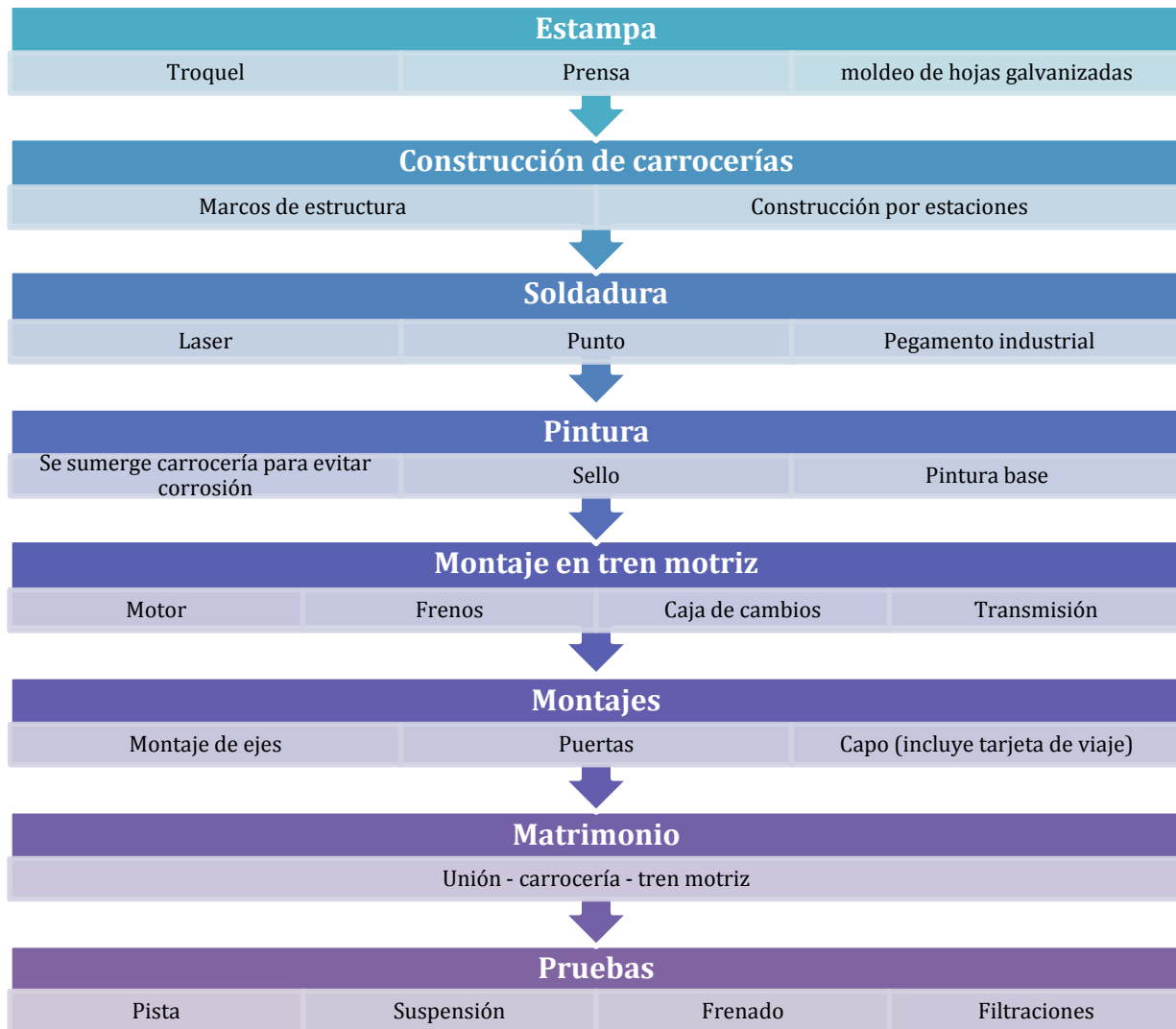


Figura 5. Diagrama de Procesos (fuente: elaboración propia)

Al final del moldeo y detallado de partes primarias, se realizan procesos de control de calidad obligatorios más un control aleatorio de calidad por pieza para evitar encontrar errores de producción en una etapa posterior. Las piezas que aprueban los controles de calidad pasan a los racks para ser almacenadas. Algunas de las piezas moldeadas son dispuestas como refacción para los vehículos que sufren siniestros. De esta manera, se puede cumplir con las necesidades de estos clientes, quienes tendrán tiempos de respuesta rápidos en cuanto a la reparación de sus vehículos.

El siguiente proceso en la línea de producción es la construcción de la carrocería, donde se excluyen partes como el capó, baúl y puertas. Por motivos del diseño del proceso, estas se procesan de manera independiente para dar así prioridad a las soldaduras de la carrocería.

El proceso de soldadura es una de las etapas prioritarias, donde los tiempos son medidos con una alta rigurosidad. Hay dos tipos de soldadura:

- Láser: La soldadura láser utiliza un esquema lineal o con curva para unir piezas y tiene un rendimiento de 35 segundos por pieza.
- Por punto: La soldadura por punto se utiliza para piezas internas o como refuerzo de piezas de gran tamaño ya que no son piezas estéticas.

El pegamento industrial (ovetano) es otro elemento de gran importancia para asegurar la calidad en interiores y exteriores de los vehículos. Este pegamento se usa comúnmente en piezas que no se pueden soldar (exterior) y en el interior para evitar vibraciones y reducir el ruido. A este punto las etapas primordiales del soldado han finalizado para dar paso al proceso de pintura.

La reducción de cuellos de botella u optimización de procesos clave es un aspecto que permitió mejorar la eficiencia de la línea de producción de esta marca. El proceso de pintado de la carrocería se optimizó para lograr un estimado de producción de 2.100 autos/día pintados, en 22 colores diferentes y sin necesidad de pintar en grandes lotes. Las cabinas de pintado se encuentran totalmente aisladas para evitar un posible flujo de partículas que generen imperfecciones en las etapas que componen el proceso. Estas etapas son:

- Agua mineral: La carrocería se sumerge en agua mineral para evitar la corrosión a largo plazo.
- Sello: Este proceso se realiza para evitar el paso de agua entre piezas soldadas e impermeabilizar zonas que comúnmente sufren por erosión de la humedad.
- Pintura a base de agua: La pintura de las carrocerías es a base de agua y se aplican tres capas: Base, sólida y barniz.
- Secado: Para un secado de la pintura eficiente las carrocerías entran a hornos.

Adicionalmente, se eliminó el uso de un horno, logrando así una reducción en el proceso de tres a cuatro horas. Este proceso, aseguran los empleados de la planta, permitió empezar a estudiar la optimización de los siguientes pasos ya que era considerado como uno de los cuellos de botella más importantes.

El siguiente paso es el montaje del tren motriz, compuesto por piezas como motor, caja de velocidades, transmisión y ejes. La etapa o el punto más importante de este proceso es un montaje automatizado donde el orden de ensamble es el siguiente:

- Motor
- Frenos
- Transmisión
- Caja de cambios

El personal dispuesto para estas tareas requiere tener un nivel más alto en cuanto al tecnicismo que requiere este proceso ya que tienen tiempo limitado y es estrictamente controlado por la marca para no generar cuellos de botella. Este paso es considerado como “el corazón” del proceso de montaje por la cantidad de procesos manuales que tiene. Todo el ensamble del tren motriz se realiza apoyándose en una banda de transporte aéreo para facilitar los tiempos de las tareas específicas que hay en cada paso o estación. Con el fin de conservar una correcta disposición de los espacios en tareas tan específicas, cuentan con un color por tarea, donde cada color tiene un espacio de cinco metros de transporte del tren motriz y un máximo de duración de dos minutos por estación. Todo este proceso se basa en prácticas como *Just In Sequence* (JIS) y *Just In Time* (JIT). Al ser procesos manuales y con elementos pequeños, hay una sección denominada “supermercado”, la cual es reabastecida por 20 proveedores y con suficientes piezas para no causar retrasos en el ensamble del tren motriz y apoyar el siguiente proceso que es la línea de montaje de puertas y capó.

Posterior al montaje del tren motriz, se realiza el montaje de los ejes (de abajo para arriba para reducir los tiempos de instalación de partes pequeñas) y la instalación del capó. Al manejar tres tipos de vehículo, cada capó viene con especificaciones detalladas del montaje para verificar que se está ensamblando la parte necesaria en la carrocería de una referencia en específico. En este punto de la línea de ensamble, las carrocerías que ingresan para acoplar las puertas ya están vendidas ya que Volkswagen maneja distintas combinaciones de colores. Por lo tanto, se ensambla lo que se ha ordenado en un orden específico para no alterar la secuencia y tener que rastrear un error en un proceso tan manual. Hay un apoyo en tableros de verificación de serial por pieza para identificar en qué etapa hay una secuencia errónea y rastrearla hasta su origen.

En cuanto a las puertas, se unen provisionalmente a la carrocería posterior al montaje de los ejes e instalación del capó para que sigan en línea el proceso de ensamble y se les asigne una tarjeta de viaje. Luego se retiran y se realiza la instalación de partes interiores que no requieren mucho tiempo. Las puertas son retiradas para evitar dañar componentes y trabajar con mayor espacio. Luego de esta instalación de componentes interiores, se instalan de manera completa las puertas para realizar pruebas de resistencia, las cuales se realizan en dos etapas:

- Cierre agresivo: El personal encargado utiliza la fuerza necesaria para cerrar cada puerta de manera “agresiva” y verificar que aunque se cierre de esta manera, continúe teniendo la misma línea de la carrocería y vuelva a cerrar completamente aplicando poca fuerza.
- Resistencia con peso: El personal encargado utiliza su propio peso para probar la resistencia de brazo y pestañas que aseguran la puerta contra la carrocería creando altas cargas con movimientos de arriba hacia abajo y verificar de nuevo que las puertas continúen teniendo la misma línea de la carrocería y vuelva a cerrar completamente aplicando poca fuerza.

Las puertas que se desmontan siguen transportándose de manera paralela al montaje de interiores, donde se hace una revisión del cableado de cada puerta y detallado de componentes como botones y seguros. Cada puerta se transporta con una tarjeta viajera que permite que regresen al mismo vehículo del cual se desmontaron. Después de ensambladas la primera vez según requerimientos del cliente, las puertas son propias de un único carro.

Alternando al proceso del ensamblado de puertas con la carrocería, se realiza el ensamblado de motor en una nave independiente. Allí también se realizan pruebas aleatorias de calidad y un proceso adicional de acabado para que las piezas funcionen y encajen perfectamente para evitar desgastes a corto plazo. En esta nave manejan un alto inventario de piezas, ya que no solo se ensamblan motores para carros nuevos sino que también se realizan reparaciones de motores usados.

Un proceso fundamental para toda compañía de ensamble de automóviles y característico por su significado es el “matrimonio”. Este proceso consiste en unir la carrocería con el tren motriz. Es llamado matrimonio ya que los trabajadores en Alemania lo consideran el punto donde se unen carrocería y tren motriz y jamás esperan separarse. Para asegurarse que la carrocería y/o el tren motriz no sufran daños durante su acople, hay máquinas con sensores en plataformas, que se utilizan para que el personal no intervenga en tareas para transportar elementos pesados, permitiendo fluidez en la línea de ensamble (INDCP, S.F.), y frenan el

proceso para corregir algún tipo de desviación. Un daño después de haber finalizado este proceso sería muy difícil de encontrar por el poco acceso que se tiene a las áreas donde encajan las piezas más importantes.

Los automóviles terminados son sometidos a una rigurosa prueba de ruta en un trayecto de 2,8 km. Los pilotos dispuestos para esta prueba toman alrededor de 13 minutos para probar cada unidad ensamblada. Esta prueba se divide en las siguientes etapas:

- Prueba de pista: El objetivo principal de la prueba de pista es conducir las unidades terminadas con maniobras que activen los sistemas de control de tracción y estabilidad configurados por computador. El correcto funcionamiento de estos sistemas verificará que cuando el carro exceda su estabilidad e intente derraparse, se reduzca el torque o la fuerza que ejerce el motor sobre los ejes de transmisión a la rueda derecha o izquierda que tiene más carga de derrape y restrinja el porcentaje de aceleración que está intentando usar el piloto. Así, cuando el carro se estabilice, los sistemas de control de tracción y estabilidad permitirán el funcionamiento normal del acelerador y transferir el máximo de torque/rpm que se desee.

- Prueba de suspensión (una parte de la prueba de pista): Esta prueba de resistencia testea la suspensión a través de un camino con baches y desniveles. Aquí también se analiza la vibración interna para hacer ajustes que no se realizaron en etapas previas.

- Prueba de frenado: La prueba de frenado consiste en llevar el carro desde los 0 km/h hasta rangos de velocidad determinados para analizar que la distancia de frenado en metros esté ajustada a los estándares de seguridad y respuesta. Usando diversos rangos se puede observar el comportamiento de los vehículos frenando bruscamente en velocidades bajas y altas y así medir la calidad de los componentes de los frenos.

Luego de la prueba de pista, los carros son sometidos a una prueba de filtraciones. En esta prueba, cada vehículo ingresa a una cabina capaz de recrear distintos niveles de intensidad de lluvia en inclinaciones variadas para verificar que los empaques de puertas, capó y baúl estén cumpliendo correctamente su función. Los cambios que se requieren hacer cuando un carro presenta irregularidades en esta prueba generalmente son de poca duración, evitando un cuello de botella importante.

Se debe destacar que ningún vehículo puede salir de la planta para su uso comercial sin haber aprobado las pruebas descritas anteriormente. Otro aspecto destacado del modelo de

producción que maneja la planta es que en esta no se producen vehículos para tener en *stock*, es decir, vehículo producido es distribuido según pedido, asemejando un sistema *pull*.

En general, los controles en cada proceso son estrictos, permitiendo a la marca obtener por varios años el premio nacional de calidad. Adicionalmente, gracias al tamaño del terreno, a la planta llegan unidades ensambladas de marcas como Audi, Bentley y Porsche, para servir como un “almacenamiento intermedio” de estas marcas del grupo Vagen. Todas las asignaciones de producción y labores principales de marketing se realizan desde la casa matriz en Wolfsburg, Alemania, teniendo en cuenta la capacidad instalada de la planta. Finalmente, la planta está siendo ampliada para comenzar la producción de la Volkswagen Tiguan, un SUV reconocido como el más exitoso en Alemania y Europa.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de la visita a la planta de Volkswagen y la investigación de sus procesos de ensamble, se puede concluir lo importante que es la ingeniería de cada proceso en una línea de producción tan grande y compleja como la expuesta en este proyecto. La participación de maquinaria es cada vez más necesaria para reducir los tiempos en diversas etapas del proceso. No obstante, siempre va a ser indispensable la intervención del ser humano para verificar la calidad de cada proceso.

La planta de Volkswagen utiliza un sistema de ensamble eficiente, buscando optimizar el uso de todos sus recursos (humanos, financieros, tecnológicos, de innovación) para lograr tener un tiempo de respuesta eficiente sin afectar la calidad de los productos. Además, con el comienzo de la producción de la Volkswagen Tiguan, esta planta afrontará nuevos retos ya que no se han ensamblado carrocerías de SUV tan modernas en dicho lugar. Como elemento positivo de esta prueba que viene en camino, cabe destacar la preparación que la marca brinda a sus empleados con múltiples incentivos (becas y facilidades al interior de la planta) para capacitarlos en labores de rigor internas y externas de manera que la marca se mantenga competitiva en el mercado.

Como recomendación en el proceso, sería ideal tener una nave que pudiera soportar los procesos más representativos para contribuir a una producción en línea más eficiente. Por ejemplo, se podría utilizar una nave independiente que, mientras no se requiera en uso permanente, se encargue de las líneas exclusivas de Volkswagen y, cuando se requiera, se pueda programar para complementar un proceso de las líneas de ensamble principales. Un posible complemento sería ideal para el proceso de ensamblado de interiores, ya que los espacios reducidos y los tiempos por tarea que tienen los operadores pueden ser muy variables por causa de accidentes o sucesos imprevistos, pudiendo ocasionar retrasos en el proceso de producción completo. Este complemento podría ser una adaptación de espacios más apropiada para evitar accidentes por trabajo en áreas reducidas, donde no se afecten los tiempos por tarea, pero los operarios no tengan presión adicional por cuidar el espacio reducido en el que hacen estas tareas contrarreloj. La línea de ensamble no se vería modificada, sería una adecuación para reducir el margen de riesgo que funciona actualmente.

Adicionalmente, a percepción de las personas que visitan la planta desde otro país, la comunicación del programa ambiental “*Think Blue*” no ha sido rigurosa o lo suficientemente eficiente para llegar a los demás países de la región que pueden reconsiderar la compra de un vehículo de esta marca debido a los escándalos con el programa de control de emisiones. A pesar de que el escándalo no fue en este país ni afecta lotes que están en Latinoamérica, la unión como marca debería verse reflejada en todo el mundo para destacar elementos positivos de toda esta controversia.

El impacto directo de “*Think Blue*” será sobre la imagen y la percepción que tienen todos los *stakeholders* sobre la marca, pero no hay un impacto directo sobre la raíz del problema. Para corregir este problema es necesario que se realice un rediseño de la ingeniería simultánea de los productos que están afectando la imagen de la marca. De acuerdo con Arnold et al. (2008), esto tendría un impacto directo en la calidad de los productos, su coste de producción y los tiempos que toma la producción de una unidad. Al implementar esta ingeniería, Volkswagen no solo podría mejorar la percepción que tienen los consumidores sobre la marca sino que también tendría un impacto directo en sus operaciones.

Todo este esfuerzo de reingeniería debería ir acompañado de un control riguroso de calidad en los productos terminados y a través de la línea de producción, para así evitar que salgan al mercado productos con fallas de cualquier tipo que puedan acarrear multas o sanciones a la marca y no comprometer su perdurabilidad. Igualmente, los programas de mejora continua que ya tienen implementados en la planta (e.g., Six Sigma) deberían ser más rigurosos para evitar defectos que conlleven devoluciones pues el dinero para administrar las devoluciones sale del presupuesto de la empresa.

Asimismo, la correcta utilización de los inventarios es una pieza clave para que Volkswagen pueda llegar a tener un correcto funcionamiento y pueda optimizar sus espacios de la mejor manera posible. Por esto, los inventarios en proceso, materias primas y productos terminados tienen que ser lo más mínimo posible para evitar sobrecostos de almacenamiento y posibles pérdidas por los excesos de manipulación de las piezas de los automóviles. Para evitar sobrecostos por faltantes de pedido o por tener los productos quietos en un solo lugar, Volkswagen podría agilizar los procesos de distribución de todo el producto terminado ya que en la planta se pudo observar que hay muchos automóviles represados en el área donde se



almacenan antes de ser distribuidos. Actualmente solo poseen una línea férrea para la distribución interna y exportaciones.

Una posible solución sería aumentar el número de líneas férreas que poseen para despachar el producto más eficientemente hacia el puerto de Veracruz, donde se lleva a cabo todo el proceso de exportación de los productos producidos en la planta de Puebla. De igual manera, se podría considerar hacer la distribución de los automóviles vía férrea a los puntos más alejados dentro de México para evitar sobrecostos en transporte, ya que actualmente este proceso se hace a través de camiones que distribuyen el producto por todo México. Por último, se podría considerar la utilización de una flota propia de camiones para la distribución de vehículos a los pueblos y ciudades más cercanos a la planta de producción. Una flota propia generaría una mayor integración en la cadena y podría reducir costos e inconvenientes en los canales de comunicación.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arnold, J. R. T., Chapman, S. N., y Clive, L. M. (2008). *Introduction to Materials Management*. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Carbonell, F. E. (2013). Técnica SMED. Reducción del Tiempo Preparación. *3 Ciencias*, 2(2), 1 – 10.
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., y Aquilano, N. J. (2009). *Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros*. México, D.F.: McGraw-Hill / Interamericana Editores.
- Erlang, A. K. (1909). The Theory of Probabilities and Telephone Conversations. *Nyt Tidsskrift for Matematik B*, 20(B), 33 – 39.
- Everett, A., y Ronald, E. (1991). *Administración de la Producción y las Operaciones: Conceptos, Modelos y Funcionamiento*. México, D.F.: Pearson Educación
- Expansión (2015, 27 de diciembre). Industria automotriz, la joya de la corona de México en 2015.
- Gaither, N., y Frazier, G. (2000). *Administración de Producción y Operaciones*. México, D.F.: International Thomson Editores.
- Garamendy, J. y Martínez, M. C. (2016, 7 de abril). VW Escarabajo. El auto del pueblo con pasado nazi.
- Hoovers (S.F.). Annual Financials.
- Ibáñez, P. (2015, 21 de enero). Toyota ha sido el primer fabricante mundial de automóviles en 2014.
- INDCP (S.F.). MQE. Quebec, Canadá
- Muñoz, D. (2009). *Administración de Operaciones: Enfoque de Administración de Procesos de Negocios*. México, D.F.: Cengage Learning Editores.
- Russelle, R., y Taylor III, B. (2011). *Operations Management: Creating Value along the Supply Chain*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Sánchez, E., Camarero, L., y Barcala, M. (2006). *Estrategia de Producción*. Madrid: McGraw-Hill.
- Volkswagen (S.F.). Mundo Volkswagen. México.