

METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE MANO DE OBRA
DIRECTA QUE SE AJUSTE A LA DEMANDA, MINIMIZANDO EL COSTO POR
CONTRATACIONES Y DESPIDOS EN UNA ETAPA DE LA LÍNEA DE MONTAJE EN
SUPERPOLO SAS

CAMILO ROMERO MARÍN

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTA D.C.

2019

METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE MANO DE OBRA
DIRECTA QUE SE AJUSTE A LA DEMANDA, MINIMIZANDO EL COSTO POR
CONTRATACIONES Y DESPIDOS EN UNA ETAPA DE LA LÍNEA DE MONTAJE EN
SUPERPOLO SAS

Proyecto de grado en la modalidad monografía para optar al título de
Ingeniero Industrial

Presentado por
CAMILO ROMERO MARÍN

Director
NÉSTOR ANDRÉS BELTRÁN BERNAL

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTA D.C.

2019

A Dios, luz en las tinieblas; a mi esposa; a mis padres; a mi familia.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a mi esposa quién restauró mi brújula y me acompañó en este camino, agradezco su paciencia, apoyo y sabiduría.

A mis padres por todo su esfuerzo y ejemplo.

A mi familia, por su apoyo incondicional y por creer en mí.

Agradezco al profesor Andrés Beltrán por su dirección académica y por su paciencia durante el desarrollo de este trabajo.

Contenido

1. Formulación del problema	9
2. Justificación	12
3. Objetivo principal	14
4. Metodología	15
5. Planeación de la producción	17
5.1. Horizontes temporales de la previsión	18
5.1.1. Previsión a corto plazo.	18
5.1.2. Previsión a medio plazo.	19
5.1.3. Previsión a largo plazo.	19
6. Tipos de sistema de producción	21
6.1. Proceso continuo	22
6.2. Proceso por lote	22
6.2.1. Línea de ensamble.	22
6.2.2. Taller de trabajo.	23
6.3. Proceso por proyecto	23
7. Componentes y características de las líneas de montaje	24
7.1. Componentes de la línea de montaje.	24
7.1.1. Estación de trabajo.	24
7.1.2. Trabajador	26
7.1.3. Ruta de proceso.	26
7.1.4. Relación de precedencia.	26
7.1.6. Diagrama de precedencia.	27
7.1.7. Movimiento de paso.	28
7.1.8. Tiempo de ciclo.	28
7.1.9. Amortiguadores.	29
7.1.10. Otros elementos. Vinculado con el tiempo de ciclo se desprenden:	30
7.2. Características de las líneas de montaje	30
7.2.1. Patrón de flujo.	31
7.2.2. Distribución física.	31
7.2.3 Volumen de producción y Nivel de personalización	32
7.2.4 Forma de producción.	32

7.2.5	Política de inventarios.....	33
7.2.6	Flexibilidad.....	33
7.2.7	Sincronía en la línea.....	34
7.3	Relación entre las características de la línea de montaje.....	35
7.3.1	Volumen de producción y Nivel de estandarización.....	36
7.3.2	Diseño del producto y política de inventarios.....	37
7.3.3	Flexibilidad y Volumen de producción.....	38
8	Métodos de pronósticos de demanda.....	40
8.1	Datos.....	40
8.1.1	Fuentes de datos.....	40
8.1.2	Clasificación de datos.....	40
8.1.3	Criterios de evaluación.....	41
8.2	Componentes de los pronósticos de series de tiempo.....	41
8.2.1	Patrón Horizontal.....	42
8.2.2	Patrón de Tendencia.....	42
8.2.3	Patrón Estacional.....	42
8.2.4	Patrón Cíclico.....	42
	Coefficiente de correlación.....	42
8.2.5	.....	42
8.3	Clasificación métodos de pronóstico.....	44
8.3.1	Técnicas de pronóstico.....	44
8.3.2	Aplicación de métodos de acuerdo a patrón.....	45
8.3.3	Descripción de los métodos de pronóstico.....	45
8.3.3.1	<i>Suavización exponencial</i>	45
8.3.3.2.	<i>Promedio móvil simple</i>	46
8.3.3.3.	<i>Metodología arima (box – jenkins)</i>	46
8.3.3.4.	<i>Suavización exponencial con tendencia (holt)</i>	47
8.3.3.5.	Método holt – Winters.....	48
8.3.3.6.	Descomposición de la serie de tiempo.....	50
8.4	Evaluación de los métodos de pronóstico.....	50
9	Costos en la contratación de empleados.....	53
9.1	Costos en la gestión de la fuerza de trabajo.....	53
9.1.1	Costos de operación.....	55

10	Normas, tipos y condiciones para la contratación laboral en Colombia	56
10.1	Normas para la contratación laboral en Colombia	57
10.1.1	Modalidades del contrato de trabajo	57
10.1.2	Modos de terminación del contrato de trabajo	59
10.1.2.1	Terminación unilateral del contrato de trabajo.	60
10.1.3.	Cantidad máxima de despidos	63
10.2	Requisitos para la contratación en la organización.	63
10.2.1	Competencia para el trabajo	64
10.2.2	Área disponible de la estación de trabajo.	64
10.2.3	Tiempo de ciclo restringido por equipamiento de las estaciones de trabajo.	64
10.2.4	Restricciones por políticas de la empresa.	64
10.3	Modelo lineal para contratación y despido con restricciones basadas en el marco legal ...	65
10.3.1	Modelo lineal	66
11	Método de balance de línea	68
12	Descripción Logística en Superpolo SAS	69
12.1	Material	69
12.2	Máquinas	76
12.3	Trabajador	77
12.3.1	Tipos de trabajador	77
12.3.2	Jornada y Turnos	77
12.4	Movimiento	78
12.4.1	Patrón de circulación	78
12.4.2	Movimiento de materiales	79
13	Definición metodología para estimar necesidades de mano de obra en la línea de montaje. ..	84
13.1	Método de pronóstico adecuado a la demanda de carrocerías en Superpolo S.A.S.	85
13.1.1	Selección de las series de tiempo de las carrocerías.	85
13.1.2	Encontrar el patrón de comportamiento de las series	85
13.1.3	Identificar métodos de pronóstico aplicables al patrón de comportamiento	86
13.1.4	Obtención y Evaluación del pronóstico	86
13.3	Representación gráfica del metodología	86
14	Aplicación de metodología a Superpolo SAS	88
14.1	Familias de carrocerías	88
14.2	Pronóstico de carrocerías	88

14.2.1	Patrón de comportamiento de los datos.....	88
14.2.2	Selección de método de pronóstico.....	92
14.2.3	Obtención del pronóstico.....	92
13.3.	Mezcla de demanda de carrocerías.....	94
14.4	Obtención del tiempo de ciclo de la línea de fabricación.....	95
13.5.	Balance de línea.....	95
14.6	Determinar la variación en la mano de obra por periodo al menor costo.....	97
13.6.1	Modelo lineal para optimizar variación de mano de obra al menor costo.....	98
15.	Conclusiones y recomendaciones.....	101
15.1.	Conclusiones.....	101
15.2.	Recomendación.....	102
REFERENCIAS	.....	106
BIBLIOGRAFÍA	.....	108
INDICE DE FIGURAS	.....	110
INDICE DE TABLAS	.....	111

1. Formulación del problema

Dentro de las empresas existen dificultades para determinar la demanda de consumo del cliente, para solucionar esto se recurre principalmente a modelos. Uno de ellos son los pronósticos, el autor al tratar sobre pronósticos de la demanda afirma que estos modelos exigen "que se cuente con información base bien medida y definida" (Carlberg, 2003, pág. 223). Por tanto, no tener claro las variables repercute en la deficiencia de los planes establecidos, manifestando problemas como exceso o escases de inventario, impactos en costos operativos y en la satisfacción del cliente (Carranza T & Sabria, 2004).

Estas variaciones también repercuten en las decisiones sobre la contratación de los colaboradores necesarios para atender la demanda. Los impactos en costos para las empresas son elevados especialmente en épocas con alta o baja demanda. Ya que de acuerdo con el autor "las fluctuaciones amplias en los niveles de empleo tiene como consecuencia costos muy elevados por concepto de contrataciones y despidos" (Everett & Ronald J, 1991, pág. 420).

También, podemos complementar con las conclusiones del Banco de la Republica en su estudio (BANREP, 2012) donde se dice que múltiples factores inciden en la demanda laboral de las firmas manufactureras colombianas, en especial choques externos asociados con el cambio técnico o, en general, choques de oferta y demanda. Por tanto, no podemos desconocer la relación existente entre la demanda y las necesidades de personal. Se concluye también en (BANREP, 2012) que las variaciones en la demanda de productos son las que generan las variaciones en las necesidades del recurso mano de obra.

De acuerdo con las cifras colectadas por las entidades gremiales como FENALCO y ANDI, respecto al sector de fabricación de automóviles, se aprecia las variaciones en el comportamiento de la demanda mes a mes y año tras año.

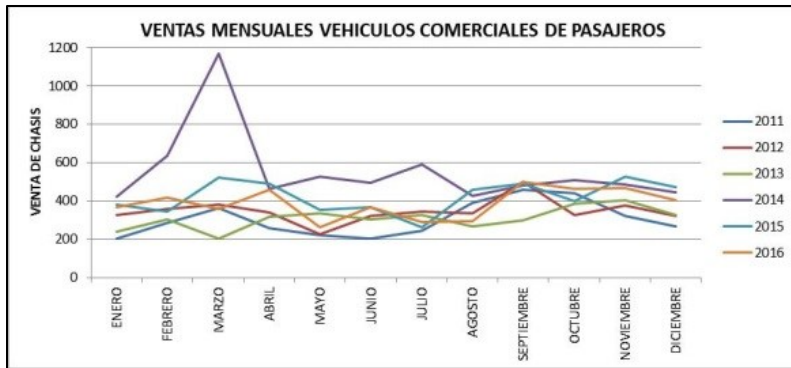


Figura 1. Ventas mensuales nacionales de vehículos comerciales de pasajeros
Fuente: Informe del Sector Automotor 2011 -2016 ANDI-FENALCO

Otra cifra que pone de manifiesto el reto sobre la determinación de cuántos colaboradores contratar es la emitida por el DANE.

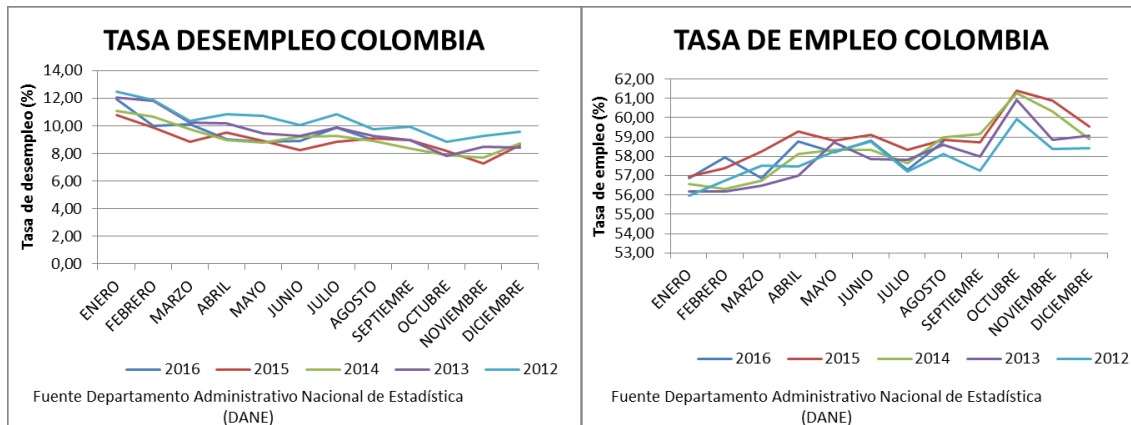


Figura 2. Tasas de empleo y desempleo en Colombia.
Fuente: DANE

Dado este ambiente macro, cada organización legalmente constituida contribuye a la variación de los anteriores números. A pesar de que mantener una fuerza de trabajo constante o variarla son estrategias determinadas y aceptadas para la regulación de la capacidad y planear la producción (Sipper & Bulfin Jr, 1998), al interior de la empresa estas decisiones tienen

repercusiones sobre los costos, y al exterior de la empresa tienen una afectación sobre la economía del país, en este caso puntual, a la economía de Cundinamarca.

No solo se ven afectados los costos relacionados a los temas de contratar o despedir un colaborador; "También, son comunes los costos indirectos de entrenamiento de nuevos empleados, decaimiento del ánimo de los empleados durante periodos de despido y otros" (Everett & Ronald J, 1991, pág. 420) . Para las empresas es costoso iniciar un nuevo proceso de contratación y aprendizaje con nuevos trabajadores en cada periodo, así como perder el aprendizaje acumulado de los trabajadores que se pudieran despedir (BANREP, 2012).

También afirma el estudio la posibilidad que las habilidades necesarias en el trabajo pueden no estar disponibles cuando son requeridas. Cuando son indispensables ciertos periodos largos no productivos para que el empleado adquiera ciertas habilidades especiales, estos tiempos muertos de contratación y periodos de entrenamiento deben de ser tomados en cuenta en el horizonte de planeación. (Everett & Ronald J, 1991)

¿De qué manera se puede determinar la cantidad de mano de obra necesaria para satisfacer la demanda mensual de la empresa en un horizonte de planeación de mediano plazo, con la menor cantidad de despidos y contrataciones para una empresa manufacturera de ensamble de carrocerías?

¿De qué forma se relaciona el sistema productivo línea de ensamble en la empresa de carrocerías de transporte de pasajeros con la planeación de los recursos industriales?

¿Cuáles son las restricciones que condicionan (cómo impactan los factores condicionantes en el costo asociado a) la contratación y despido de empleados en una empresa manufacturera que produzca carrocerías en cota?

¿Cómo impactan los factores industriales en el costo asociado a la contratación y despido de empleados en una empresa manufacturera que produzca carrocerías en Cota?

2. Justificación

El sector manufacturero en Colombia tiene gran importancia para la economía del país, tal como lo muestra los estudios económicos del Departamento Nacional de Planeación (DNP) donde se afirma que este tiene mayor cercanía con la demanda final que otros y que cualquier fomento sobre la demanda genera efectos positivos sobre los demás sectores de la economía (Villamil S & Hernandez D, 2015). Las variables económicas, como el PIB, presentan mejoras año tras año, recordando que esta variable ofrece una visión general del estado de la economía (Samuelson & Nordhaus, 2010). Sin embargo, a pesar de los esfuerzos, el sector de las industrias de manufactura tiene una pendiente de mejora inferior respecto a los sectores de prestación de servicios, así lo muestran las proyecciones del DANE en cuanto al PIB (Figura 3) Por esto, cada esfuerzo por aplicar herramientas teóricas para entender el comportamiento del sector manufacturero contribuirá en las empresas tanto a nivel particular como a la economía del país.

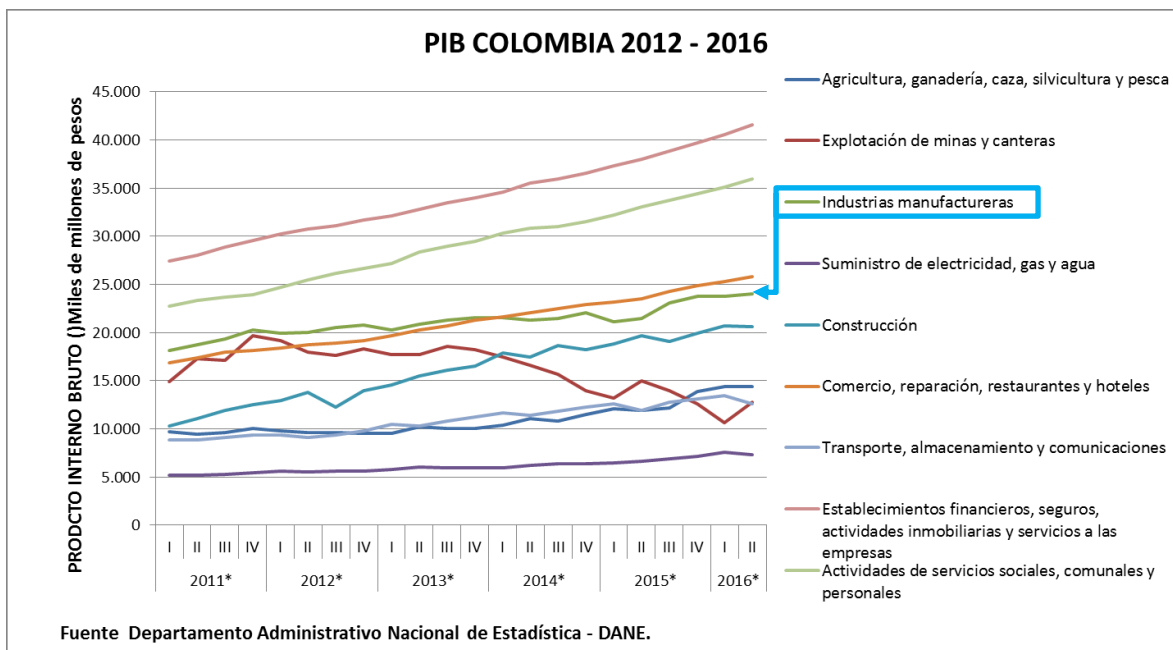


Figura 3. Comportamiento PIB Colombia 2012 – 2016

Fuente: DANE

Ahora, la población desea obtener empleos bien remunerados sin necesidad de buscarlos o de esperar demasiado, y quiere seguridad y buenas prestaciones. También la empresa, requiere gestionar sus costos conociendo los cambios al determinar la variación de alguno de sus recursos para la planeación del aumento o reducción de la producción (Samuelson & Nordhaus, 2010)

La variabilidad de la demanda del producto y los procesos mismos por lo habitual provocan desequilibrio (Samuelson & Nordhaus, 2010). Es en este momento que la planeación de la mano de obra adquiere importancia, al ser un componente de los recursos necesarios para determinar la capacidad futura y garantizar que sea la adecuada para cumplir los planes de producción (Samuelson & Nordhaus, 2010). Sin desconocer la función de las empresas de procurar la estabilidad del empleo, establecido como objetivo de la nación, referido en el artículo 53 de la Constitución Política de Colombia.

Debido a estos hechos, se resalta la necesidad de la definición de un método para estimar la cantidad de personas requeridas para satisfacer los objetivos de las empresas, condicionado a causar el menor costo posible, el menor nivel de desabastecimiento del recurso, flexibilidad con la demanda, el mayor aprovechamiento del recurso a contratar y el cumplimiento de la legislación Colombiana.

Dentro de la empresa existen áreas de la planta con mayor sensibilidad respecto a la variación de la demanda. De las 11 etapas, 3 corresponden a fabricación y 6 al montaje, estas últimas se organizan por medio de una línea de montaje y concentran cerca del 60% del total de trabajadores. El sector 4 es la etapa de montaje donde se realizan las operaciones de forma manual, concentrando un gran porción de Trabajadores directos, alrededor del 19% de los, y es donde se presenta el impacto más grande ante las variaciones de la demanda que influyen en las tasas de producción y su correspondiente cantidad de trabajadores.

3. Objetivo principal

Proponer una metodología para estimar la cantidad de personas requeridas que minimice el impacto en la utilidad por contrataciones y despidos, y que este alineado con la demanda en la empresa fabricante de carrocerías para el transporte de pasajeros.

Objetivos secundarios

1. Identificar los elementos del sistema productivo en línea de montaje en la empresa y sus relaciones, desde la perspectiva de la planeación de la mano de obra.
2. Establecer la técnica de pronóstico adecuada a la demanda de carrocerías de transporte de pasajeros.
3. Determinar el impacto de los costos de contratación y despido de empleados en la planeación de mano de obra en Superpolo SAS.
4. Vincular las necesidades productivas de mano de obra en la línea de montaje y la legislación Colombiana vigente en materia de empleo e identificar los requisitos legales asociados.
5. Definir y documentar el método para estimar las necesidades de mano de obra en la línea de montaje.

4. Metodología

El tipo de estudio a adelantar es la Investigación Descriptiva, dado que el objetivo principal requiere de la identificación y selección de las características más importantes de las líneas de montaje de carrocerías y el cálculo de mano de obra sobre estas; también, la descripción de las de sus partes.

A continuación se presenta la forma en que se procederá para alcanzar el objetivo principal de este proyecto, teniendo como base el logro de los objetivos específicos a través de un conjunto de actividades apoyadas en herramientas según se considere pertinente.

Tabla 1. Metodología

OBJETIVO	ACTIVIDAD	TAREAS	RESULTADO
1. Identificar los elementos y sus interrelaciones para el sistema productivo en línea de montaje en la empresa, desde la perspectiva de la planeación de la mano de obra.	Extraer los elementos característicos de las líneas de montaje	Revisión bibliográfica	Lista y descripción de características de las líneas de montaje
	Listar los elementos que componen y caracterizan las líneas de montaje	Clasificación de la información e identificación de los elementos y características comunes entre autores	Listado y descripción de componentes de las líneas de montaje
	Identificar las relaciones entre los elementos de la línea de montaje		Representación de línea de montaje
2. Establecer la técnica de pronóstico que mejor se ajusta a la demanda de carrocerías de transporte de pasajeros	Encontrar los criterios para seleccionar las series de tiempo	Revisión bibliográfica	
	Identificación y definición de los componentes del pronóstico de una serie de tiempo	Clasificación de la información e identificación de los elementos y características comunes entre autores	Listado y definición de cada patrón de comportamiento característicos de las serie de tiempo
	Identificación de herramientas para encontrar los componentes del pronóstico de las series	Revisión bibliográfica	Herramientas para encontrar patrones en las series
	Identificar métodos de pronóstico aplicables y clasificación según los componentes del pronóstico	Revisión bibliográfica	Listado y descripción de los métodos de pronóstico Tabla con clasificación de métodos de pronóstico
	Descripción de los métodos de pronóstico, forma de obtención y medidas de desempeño.	Revisión bibliográfica	Descripción del método y medida de desempeño para el método de pronóstico.

Fuente: elaboración propia

OBJETIVO	ACTIVIDAD	TAREAS	RESULTADO
3. Determinar las restricciones e impacto de los costos de contratación y despido de empleados en la planeación de mano de obra en Superpolo SAS.	Identificar costos asociados a la contratación y despido	Revisión bibliográfica.	Listado de costos generados por la contratación y despido de mano de obra
	Determinar las restricciones organizacionales de contratación y despido	Revisión bibliográfica. Entrevistas y observación dentro de la empresa.	Conjunto de restricciones de la organización para la contratación y el despido de mano de obra
4. Vincular las necesidades productivas de mano de obra en la línea de montaje y la legislación Colombiana sobre la estabilidad del empleo.	Identificar en el marco legal laboral colombiano las condiciones para la contratación y el despido de trabajadores	Revisión bibliográfica marco legal del trabajo en Colombia.	Modalidades de contrato de trabajo.
	Determinar los modos de terminación de contratos de trabajo, las restricciones legales y los costos asociados.	Revisión bibliográfica marco legal del trabajo en Colombia.	Terminación de contrato y costos asociados.
	Determinar los requisitos principales de la mano de obra directa para Superpolo SAS	Revisión bibliográfica. Consulta de requisitos en la empresa.	Listado de requisitos principales de los trabajadores directos
	Determinar modelo para contratación y despido que incluya las restricciones legales.	Determinar variables del modelo. Determinar objetivo del modelo. Determinar restricciones del modelo.	Modelo lineal para contratación y despido con restricciones basadas en el marco legal.
5. Definir y documentar el método para estimar las necesidades de mano de obra en la línea de montaje	Describir el sistema productivo de la empresa	Revisión bibliográfica Entrevistas y observación dentro de la empresa.	Descripción logística de Superpolo
	Establecer los pasos de la metodología utilizando los hallazgos de cada objetivo	Revisar cada hallazgo de los objetivos secundarios, agrupar las actividades afines y enmarcarlas en pasos	Agrupación de actividades en pasos de la metodología
	Definir el orden de realización de los pasos de la metodología	Determinar la necesidad de uso del resultado de un paso en los otros pasos de la metodología	Secuencia de la metodología
	Plantear la estructura de la metodología	Ordenar los pasos y determinar las precedencias de realización	Metodología propuesta
	Utilizar los datos obtenidos en la empresa y aplicar los pasos de la metodología obtenida		

Fuente: elaboración propia

5. Planeación de la producción

Sistema de producción para (Sipper & Bulfin Jr, 1998) es “aquello que toma un insumo y lo transforma en una salida o producto con valor inherente” también sugiere que existe una división en dos clases: de manufactura y de servicios; y que para el caso de la manufactura los insumos y las salidas son tangibles.

“Los sistemas de producción son complejos y requieren administrarse” (Sipper & Bulfin Jr, 1998, pág. 16). Por esto se utiliza “tecnologías para la administración de la producción que comprenden muchos aspectos como el comportamiento, tecnología de procesos, calidad y planeación y control de la producción”. Sobre esta última (Domínguez Machuca, 1995) y (Sipper & Bulfin Jr, 1998) afirman que existen los siguientes elementos:

- Planeación de la capacidad a largo plazo o estratégica.
- Planeación de la producción, agregada, a mediano plazo o táctica.
- Requerimientos a corto plazo (capacidad de materiales)
- Programación Maestra.
- Ejecución, estimación de costos y control de la calidad.

Puntualmente, “la planeación a largo plazo de la capacidad garantiza que la capacidad futura será adecuada para cumplir con la demanda futura y puede incluir **equipo, personal y también materiales**” (Sipper & Bulfin Jr, 1998, pág. 17). Sobre el concepto de capacidad el autor afirma que esta “se define como la cantidad que puede producir un sistema de producción”. (Sipper & Bulfin Jr, 1998, pág. 175)

Esta decisión se toma con la ayuda de una técnica llamada **planeación agregada**” hecho posible al plantear que “el pronóstico de la demanda de los clientes da inicio a la actividad de planeación y control de la producción” (Sipper & Bulfin Jr, 1998, pág. 17)

“La planeación agregada se concentra en los problemas de planeación de la producción a **mediano plazo**. En este nivel, se considera una unidad agregada y no un producto individual. La unidad agregada se define por medio de alguna medida común a todos los productos, como horas de producción o dólares” (Sipper & Bulfin Jr, 1998, pág. 215).

“Un producto agregado se expresa en términos de tiempo y dinero, al hacerlo, se pueden agregar los diferentes productos usando la misma unidad de medida. Para convertir la demanda mensual de los productos a demanda mensual de horas de producción, se multiplica el tiempo requerido para producir cada producto por el número necesario, y se suman.” (Sipper & Bulfin Jr, 1998)

"Cuando la demanda varia, los niveles de producción no son obvios. Debe determinarse un plan de producción". (Sipper & Bulfin Jr, 1998, pág. 176)

5.1. Horizontes temporales de la previsión

“La producción se planea para diferentes horizontes de tiempo a través de un enfoque jerárquico. Es común que se desarrollen tres planes con distintos horizontes. Estos son los planes a largo, mediano y corto plazo”. (Sipper & Bulfin Jr, 1998)

5.1.1. Previsión a corto plazo.

“Esta previsión tiene un periodo de cobertura de hasta un año, aunque generalmente es inferior a los tres meses.” (Heizer & Render, 2007). “este plan puede cubrir de una semana a seis meses, con actualizaciones diarias o semanales. Es común un horizonte de un mes con actualización semanal. Determina el tiempo en que se hace un producto en particular en una máquina específica. Las unidades pueden ser productos específicos; y la capacidad, puede ser

las horas disponibles en una máquina dada. Este plan determina el tiempo extra y el tiempo sobrante, al igual que la posibilidad de no satisfacer la demanda.” (Sipper & Bulfin Jr, 1998)

5.1.2. Previsión a medio plazo.

“Abarca generalmente entre tres meses y tres años” (Heizer & Render, 2007) para (Sipper & Bulfin Jr, 1998) es un horizonte entre 6 meses a 2 años con actualizaciones mensuales o trimestrales.” “La entrada incluye decisiones sobre capacidad y productos del plan a largo plazo.” También describe que “las unidades de medida están agregadas por línea o familia de productos y departamentos en la planta.” “Las decisiones comunes son cambios en la fuerza de trabajo, maquinas adicionales, subcontratación y tiempo extra.”

5.1.3. Previsión a largo plazo.

“Generalmente abarcan periodos de tres años o más” (Heizer & Render, 2007) y “usualmente se actualiza cada año. La entrada es el pronóstico agregado a largo plazo y la capacidad real de la planta.” (Sipper & Bulfin Jr, 1998)

(Domínguez Machuca, 1995) afirma que "para los diferentes niveles de planeación se utilizan diferentes tipos de unidades de agregación, estos son:

- Componentes
- Productos
- Familias
- Tipos

"Cuando se establece un plan agregado y que este se ajuste a la demanda de productos finales se plantea las siguientes posibilidades: actuar sobre la demanda o actuar sobre la capacidad. La primera involucra acciones comerciales; la segunda, implica acciones de aumento o disminución

de la misma. Las más comunes son contratación y despido, utilización de horas extras, tiempos ociosos, subcontratación y programación de vacaciones. Cada una de las cuales tiene un impacto en el costo." (Domínguez Machuca, 1995)

Tabla 2. Acciones sobre la capacidad

OPCIÓN	COSTOS
Contrataciones y despidos	Contratación: asociados al reclutamiento y formación del empleado Despido: asociados a pagos por incumplimientos del contrato y trabajo administrativo
Utilización de horas extras	Mayor costo de horas extras Costos derivados de menor productividad
Tiempos ociosos	Salarios y cargas sociales Penalización por el desaprovechamiento de la capacidad
Sub contratación	Precio cobrado por la empresa sub contratada Penalizaciones por riesgo de pérdida de calidad y clientela
Programar vacaciones	Ninguno adicional

Fuente: (Domínguez Machuca, 1995)

La elección del plan más adecuado deberá tener en cuenta los siguientes factores:

- Limitaciones del entorno: por ejemplo marco legal laboral.
- Políticas de la empresa
- Costos: derivados de la mano de obra en jornada regular, horas extras, tiempos ociosos, posibles contrataciones y despidos, subcontratación, inventario no almacenado, retraso en el servicio
- Satisfacción del cliente, puede ser medida por calidad del producto o cumplimiento de plazos.

Para evaluar un plan de producción no será necesario calcular el costo básico de producción relacionado con materiales, seguros, mantenimiento de instalaciones, amortización de equipos entre otros; solo el costo incremental que la alternativa del plan implique. (Domínguez Machuca, 1995)

6. Tipos de sistema de producción

Partiendo de la observación del flujo del producto se presentan las características requeridas para determinar la clasificación por tipo de producción. Estas son el tipo de orden, flujo del producto, la variedad del producto, tipo de mercado y volumen. (Schroeder, Meyer G, & Rungtusanatham M, 2011)

De acuerdo a las variaciones de estas características se plantean 5 tipos de flujos de producto:

Características	Continuo y líneas de ensamble	Lote y talleres de trabajo	Proyecto
Producto			
Tipo de orden	Continuo o lote grande	Lote	Una sola unidad
Flujo del producto	Secuenciado	Discontinuo	Ninguno
Variedad del producto	Baja	Alta	Muy alta
Tipo de mercado	En masa	Personalizado	Único
Volumen	Alto	Mediano a bajo	Una sola unidad

Figura 4. Características del proceso.

Fuente: (Schroeder, et al., 2011)

Cada uno de estos tipos de flujo se describen en (Medina L, Nogueira R, Pérez N, & Quintana T, 2002) y se destaca la organización por configuraciones productivas, mencionando los mismos tipos de flujos.

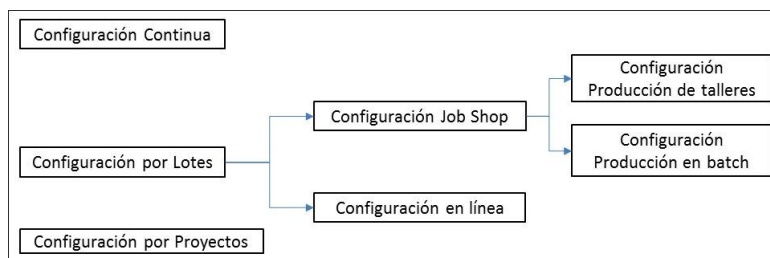


Figura 5. Configuraciones productivas

Fuente: Elaboración propia.¹ (Domínguez Machuca, 1995)

¹ Elaboración a partir de la descripción de configuraciones productivas hecha por Domínguez Machuca en (Medina L, Nogueira R, Pérez N, & Quintana T, 2002)

Complementando las anteriores características, se presentan las siguientes de acuerdo a las a las configuraciones productivas mencionadas:

Configuraciones	Homogeneidad	Repetitividad	Productos	Intensidad del capital	Flexibilidad	Participación del cliente	Volumen de producción
Continua	Alta	Alta	Estándar	Automatización e inversión alta	Inflexible	Nula	Muy grande
Línea	Media	Media	Varias opciones	Automatización e inversión media	Baja	Baja	Medio/ grande
Batch	Baja	Baja	Muchas opciones	Automatización e inversión baja	Media	Media	Baja
Talleres o a medida	Muy Baja	Baja	A medida	Automatización escasa o nula e inversión baja	Alta	Alta	Muy baja
Proyecto	Nula	Nula	Unico o a medida	Automatización nula	Alta	Alta	Uno o pocos

Figura 6. Características Configuraciones productivas

Fuente: (Medina L, et.al., 2002)

Para tener claridad con los tipos de sistemas de producción, a continuación se presenta una breve definición:

6.1. Proceso continuo

Se presentan dos elementos que determinan el proceso continuo. La primera es que cada máquina y equipo está diseñado para realizar siempre la misma operación. La segunda que durante un período de tiempo largo la capacidad de producción se destina a la obtención de un solo producto.

6.2. Proceso por lote

Diferentes tipos de productos fluyen en lotes de acuerdo a los pedidos individuales.

6.2.1. Línea de ensamble.

Se caracteriza por una secuencia de operaciones lineales que se utiliza para fabricar el producto, usando para ello las mismas maquinas. Usualmente con una secuencia fija del material. Este tipo de producción es frecuentemente usado con productos estándar que son elaborados y luego

almacenados, y para artículos que se elaboran y ensamblan según el pedido cuando el volumen justifica el sistema de producción.

6.2.2. Taller de trabajo.

Los equipos y puestos de trabajo son agrupados y organizados de acuerdo a la función o proceso que ellos realizan. En este tipo de sistema, cada lote puede tener diferentes recorridos por los puestos de trabajo.

Los productos pueden ser elaborados con el objetivo de almacenarlos o para satisfacer un pedido.

6.3. Proceso por proyecto

Los pedidos no son lotes ni unidades, no existe flujo del producto pero si una secuencia de operaciones. Además, requiere de un largo periodo de tiempo para su obtención.

De acuerdo a las generalidades expuestas con anterioridad se realiza una primera aproximación a los tipos de producción presente en la fabricación de carrocerías

7. Componentes y características de las líneas de montaje

La fabricación de vehículos es reconocida por tener un tipo de proceso o sistema productivo en línea. Existen dos categorías o distribuciones en planta, la línea de fabricación y la línea de ensamble (Heizer & Render, 2007). La primera elabora componentes y la segunda, sobre la que se enfoca este trabajo, ensambla las piezas fabricadas. Para entender el comportamiento de una línea de ensamble se nombran y describen los elementos que son parte integrante y las características de la misma.

7.1. Componentes de la línea de montaje

La identificación de los elementos de la línea de ensamble se puede apreciar a través de la descripción de la distribución en planta (*layout*) de este tipo de proceso.

Una línea de ensamble es un tipo de organización de proceso y como afirma (Chase, Jacobs F, & Aquilano, 2009) "los procesos se disponen de acuerdo a los pasos sucesivos que sigue la producción de un producto."

Atendiendo a esto, se identifican los siguientes elementos:

7.1.1. Estación de trabajo.

Partiendo de la división del trabajo, en general, para un proceso en línea se identifica como elemento el puesto de trabajo o más comúnmente llamado *Estación de trabajo* Chase et al. (2009) Debido a la disposición en serie, además de dar forma física a las instalaciones productivas, ordenan la secuencia de operaciones y por consiguiente el flujo de la línea permitiendo que el producto se desplace a lo largo de la misma y que como plantean los

autores mencionados, en cada estación se realice los pasos repetitivos de añadir partes o terminar operaciones de ensamble. (Heizer & Render, 2007)

Como síntesis del concepto (Fisher & Ittner, 1999) plantea que una estación de trabajo es definida como el trabajo realizado por una persona en cada carro movido a través de la línea. Este trabajo está compuesto por un trabajo base más alguna combinación de opciones.

De esta manera podemos ver que las estaciones de trabajo a su vez contienen el trabajo específico asignado con base en la secuencia de operaciones, se le llama **Tarea** o Tareas a la división del trabajo dentro de la estación Chase et al. (2009) (Heizer & Render, 2007)

Es decir que todo el trabajo de la estación lo componen las tareas que se le asignaron y se agrupan de manera que se pueda alcanzar la tasa de producción.

Es posible ir más al detalle y plantear una sub división de la Tarea tal como propone (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008) al afirmar que estas se pueden dividir en **elementos de trabajo**, considerando que son las unidades de trabajo más pequeñas que pueden realizarse en forma independiente.

Una representación de la estación de trabajo es posible de la siguiente manera:

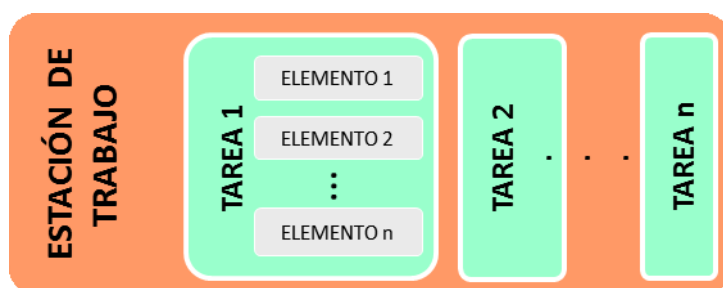


Figura 7. Estación de trabajo

Fuente: elaboración propia

7.1.2. Trabajador

Con frecuencia se utiliza el término *mano de obra* para hacer referencia a los trabajadores, sin embargo, este hacer referencia al esfuerzo físico y mental necesario para la producción y comercialización de los productos de la empresa. (Mendoza Roca, 2004)

Típicamente, un trabajador opera cada estación y realiza tareas repetitivas. Krajewski et al. (2008)

Existe una división en Mano de obra directa, que son todos los pagos que se hacen a los trabajadores que laboran directamente sobre el producto o sobre una parte del mismo. Y Mano de obra indirecta, son todos los pagos que se hacen a aquellas personas que no laboran directamente sobre el producto pero que colaboran con el desarrollo de proceso productivo. (Mendoza Roca, 2004)

7.1.3. Ruta de proceso.

En una distribución de planta por producto como la línea de ensamble, el equipo se coloca de manera que el producto siempre siga la misma ruta a través de la planta (Sipper & Bulfin Jr, 1998) es decir, los **recursos están alrededor de la ruta** que sigue el cliente o el producto, en lugar de que muchos de ellos lo compartan Krajewski et al. (2008) Puntualmente, las máquinas y la mano de obra se disponen de acuerdo con el flujo mismo del producto Schroeder et al. (2011)

7.1.4. Relación de precedencia.

La secuencia de las operaciones marca el orden de ejecución del trabajo. En esta secuencia se establece como dice Chase et al. (2009) y (Heizer & Render, 2007) una **Relación de**

precedencia, especifica que una actividad no podrá empezar mientras otra actividad precedente no haya sido completada Krajewski et al. (2008)

La mayoría de las líneas deben satisfacer algunos requisitos tecnológicos de precedencia; sin embargo, la mayoría de líneas permiten también cierta latitud y más de una secuencia de operaciones. Krajewski et al. (2008)

En una línea de ensamble cada producto en el flujo de producción sigue la misma secuencia de operaciones. (Sipper & Bulfin Jr, 1998)

Concluyendo, las piezas de trabajo pasan de una estación de trabajo a otra a un ritmo controlado y siguiendo la secuencia necesaria para fabricarlo/ensamblarlo Chase et al. (2009)

Un flujo en línea significa que los materiales o información avanzan linealmente de una operación a otra, de conformidad con una secuencia fija Krajewski et al (2008) Además, la línea requiere estar equilibrada, esto significa que el tiempo empleado en una estación debe coincidir con el tiempo de la siguiente estación (Heizer & Render, 2007) los Japoneses se refieren a un proceso en línea como *operaciones traslapadas*, en las que los materiales pasan directamente de una operación a otra sin tener que permanecer en filas de espera. El producto avanza de una estación a la siguiente hasta que sale totalmente terminado al final de la línea. Krajewski et al. (2008) Schroeder et al. (2011)

7.1.6. Diagrama de precedencia.

Un diagrama de precedencia permite visualizar mejor los predecesores inmediatos (elementos de trabajo); los elementos de trabajo se denotan por medio de círculos, con el tiempo requerido para realizar el trabajo indicado debajo de cada círculo. Las flechas conducen de los predecesores

inmediatos al siguiente elemento de trabajo. Los elementos predecesores inmediatos son los elementos de trabajo que deben llevarse a cabo antes de comenzar el siguiente.

7.1.7. Movimiento de paso.

En un proceso en serie o línea de ensamble, los productos se desplazan de una estación de trabajo a otra sucesivamente, a cierto ritmo, para ser transformados en el producto final; conocido como **movimiento de paso**.

A su vez destaca Chase et al. (2009) y (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008) que al cumplirse el tiempo de ciclo, de manera usual es necesario contar con un sistema mecánico, aparato para el manejo de materiales o de forma manual para realizar el movimiento a la siguiente estación y coordinar la línea. Paso rítmico se refiere a los tiempos fijos del movimiento de los objetos que pasan por un proceso.

Muchas estaciones organizadas en series, en general se caracterizan por estar conectadas a través de un sistema continuo de manipulación de material. (LEE & VAIRAKTARAKIS, 1997)

7.1.8. Tiempo de ciclo.

Es el que transcurre entre el inicio y el fin de un trabajo (Chase, Jacobs F, & Aquilano, 2009). Se reconoce el tiempo de ciclo real que para (Chase, Jacobs F, & Aquilano, 2009) en un proceso repetitivo es el tiempo promedio que transcurre entre el final de unidades sucesivas.

Y el tiempo de ciclo requerido para el proceso se obtiene, según Chase et al. (2009), al dividir el tiempo disponible para producir cierto producto entre la demanda de consumo de ese

producto. Además, este es el máximo que puede estar el producto en cada estación de trabajo (Heizer & Render, 2007) (LEE & VAIRAKTARAKIS, 1997)

Atendiendo a lo anterior el tiempo de ciclo (TC) requerido se calcula de la siguiente manera:

$$TC_{REQUERIDO} = \frac{\text{Tiempo de producción disponible por día}_{PRODUCTO}}{\text{Demanda diaria de unidades}_{PRODUCTO}}$$

En la mayoría de líneas de ensamble con mezcla de productos, los sistemas de movimiento de materiales se mueven a una velocidad constante, y los modelos son introducidos a la línea a intervalos de tiempo iguales. (LEE & VAIRAKTARAKIS, 1997)

El tiempo estándar para realizar una operación en una estación de trabajo representa el contenido del trabajo esperado para completar el requerido en un carro (Fisher & Ittner, 1999)

7.1.9. Amortiguadores.

Existe la posibilidad que a los procesos en línea se incorporen amortiguadores con el propósito de mantener el flujo cuando el trabajo en una estación de trabajo supera el tiempo de ciclo.

Un amortiguador es un espacio de almacenamiento entre etapas de montaje o fabricación, permite que las etapas operen de manera independiente. Cuando no existe amortiguador entre etapas cada estación está ligada una con la otra (CHASE, et al., 2009)

Se producen productos estándar adelantándose a las necesidades y estos se mantienen en inventario para que estén listos en el momento en que un cliente haga un pedido. (KRAJEWSKI, y otros, 2008)

Se acumula poco inventario entre una estación y la siguiente, por lo que las estaciones no pueden operar de manera independiente (KRAJEWSKI, y otros, 2008)

Buffers de seguridad son utilizados para proteger en contra el represamiento y falta de material de las estaciones. (LEE & VAIRAKTARAKIS, 1997)

7.1.10. Otros elementos. Vinculado con el tiempo de ciclo se desprenden:

El **tiempo de procesamiento** es el que transcurre mientras se trabaja en una unidad y el tiempo que transcurre mientras espera en una fila (Chase, Jacobs F, & Aquilano, 2009) en una línea de ensamble es el tiempo de ciclo por la cantidad total de estaciones.

La **tasa de producción** es la cantidad de unidades a producir en un periodo determinado, las líneas de ensamble requieren que esta se alinee con la demanda, por tanto su cálculo se realiza a través de la división de las unidades requeridas respecto al tiempo disponible del periodo.

La línea de ensamble se puede definir entonces como sigue:

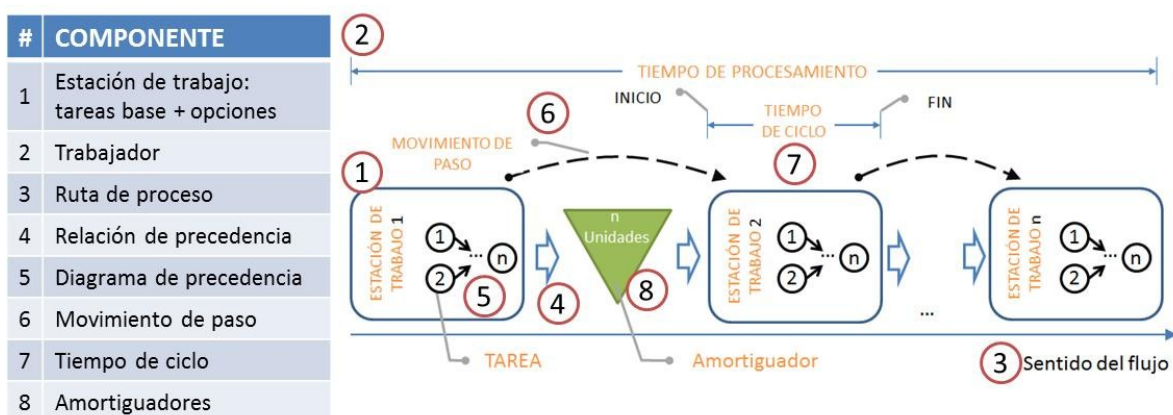


Figura 8. Representación línea de ensamble

Fuente: elaboración propia.

7.2. Características de las líneas de montaje

Una de las características relevantes en los sistemas en línea es la división del trabajo donde la finalidad de la división del trabajo es producir más y mejor con el mismo esfuerzo (FAYOL,

1973), desde la vía de la repetición de una misma labor, cada paso realiza el mismo proceso una y otra vez Krajewski et al. (2008).

Cuando los volúmenes son altos la línea de ensamble tiene tasas de procesamiento rápidas, inventarios reducidos, y menor tiempo improductivo por cambio de producto y manejo de materiales. Krajewski et al. (2008)

Además de la anterior, se identifican las siguientes características:

7.2.1. Patrón de flujo.

De esta manera, las líneas de ensamble se caracterizan en primera medida por el orden sucesivo de los pasos de producción, esto es el **patrón del flujo del trabajo** Chase et al. (2009) o como se establece en (GAITHER & FRAZIER, 2000) por seguir trayectorias lineales directas sin regreso o sin movimientos laterales. Se define esta característica en Schroeder et al. (2011) como **Flujo de producto Secuenciado**.

7.2.2. Distribución física.

La secuencia de fabricación o las operaciones de ensamble requeridas por el producto determinan la distribución física (Sipper & Bulfin Jr, 1998) Por tanto la línea de ensamble utiliza una enfocada al producto (Schroeder, Meyer G, & Rungtusanatham M, 2011) y en esta, se encuentran las estaciones de trabajo o departamentos que están dispuestas en una trayectoria lineal (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008)

Aunque las distribuciones de flujo en línea siguen a menudo una línea recta, esta trayectoria no es siempre la mejor, pueden estar configurados de muchas maneras, incluyendo forma de C,

L, O, S, U o con ramificaciones Chase et al. (2009) , Krajewski et al. (2008) y (LEE & VAIRAKTARAKIS, 1997)

En las anteriores distribuciones se establece que las estaciones de trabajo se distribuyan en serie, para (Mesa & Bedoya, 2009) existe también **líneas de ensamblaje con estaciones en paralelo** y afirma que estas son requeridas en los casos donde hay tareas indivisibles, donde la duración total excede el tiempo de ciclo deseado.

Establece que el número de estaciones de trabajo en paralelo se determina así:

$$N_p = \text{Entero mayor} \left\lceil \frac{DTI}{TC} \right\rceil$$

Dónde:

N_p : Número de estaciones en paralelo

DTI: Duración de la tarea indivisible

TC: tiempo de ciclo

7.2.3 Volumen de producción y Nivel de personalización

También, existen dos características utilizadas para determinar el tipo de proceso adecuado para la manufactura, y por las cuales se destaca cada proceso de fabricación (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008) (Schroeder, Meyer G, & Rungtusanatham M, 2011) (Chase, Jacobs F, & Aquilano, 2009) (Sipper & Bulfin Jr, 1998), estas son:

- Volumen de producción: *volumen de productos fabricados.*
- Nivel de estandarización: *el grado de personalización o estandarización (variedad de productos)*

7.2.4 Forma de producción.

La forma de producción también describe la organización del proceso, para las líneas de ensamble la manufactura de unidades discretas (GAITHER & FRAZIER, 2000) es un aspecto característico.

Las líneas de ensamble elaboran productos discretos como automóviles, refrigeradores, computadoras, impresoras y una variedad muy extensa de productos de consumo que se fabrican en masa. Schroeder et al. (2011)

7.2.5 Política de inventarios.

Como parte de la descripción de las características del proceso estudiado se toma como referencia dos decisiones complementarias a las anteriores e interrelacionadas entre sí, estas son el tipo de **diseño del producto** y la **política de inventarios**; la primera afecta a la segunda (GAITHER & FRAZIER, 2000)

El diseño de producto se refiere al diseño de productos *a la medida* o productos *estándar*. Y la segunda a *producir para existencia* o *producir según pedido*.

7.2.6 Flexibilidad.

La línea de ensamble tiene más estructura, comparada con los talleres de proceso, por tanto poseen menos flexibilidad. (Heizer & Render, 2007)

Hay falta de flexibilidad en los procesos de línea cuando se maneja una variedad de productos o tasas de producción (Heizer & Render, 2007) Flexibilidad de los recursos es la facilidad con la que los empleados y el equipo manejan una amplia variedad de productos, niveles de producción, tareas y funciones. Flexibilidad de la producción es la capacidad para realizar con rapidez el

cambio de producir un producto a producir otro y flexibilidad en los volúmenes es la capacidad de aumentar o reducir rápidamente los volúmenes de productos producidos.

La condición de alto volumen y estandarización, dificulta efectuar cambios en el producto o el volumen, dando como resultado inflexibilidad en las operaciones. Además, la línea funciona a una velocidad constante y, por lo tanto, el volumen solo puede alterarse variando el número de horas que la planta trabaja (Schroeder, Meyer G, & Rungtusanatham M, 2011)

7.2.7 Sincronía en la línea.

Una línea de ensamble de automóviles es generalmente una línea de producción sincrónica, donde todos los automóviles son desplazados simultáneamente a través de una cinta transportadora. (YAN, XIA, ZHU, LIU, & GUO, 2003)

		LINEA DE ENSAMBLE	
		CLASICA	MEZCLA DE MODELO
PRODUCTO	TIPO DE ORDEN	Continuo o lote grande	Lote
	FLUJO DE PRODUCTO	Trayectoria lineal con relaciones de precedencia	Trayectoria lineal con relaciones de precedencia
	VARIEDAD DEL PRODUCTO	Baja	Alta
	TIPO DE MERCADO	En masa	Personalizado en masa
	VOLUMEN	Alto	Alto
	POLITICA DE INVENTARIOS		Sobre pedido
	FORMA DE PRODUCCIÓN DE UNIDADES	Unidades discretas	Unidades discretas
MANO DE OBRA	HABILIDADES	Bajo	Alta
	TIPO DE TAREA	Repetitivo	Repetitivo
	REMUNERACIÓN	Mediana	Mediana
CAPITAL	INVERSION	Alta	
	INVENTARIO	Bajo	Bajo
	EQUIPO	Para propositos especiales	
OBJETIVOS	FLEXIBILIDAD PRODUCCIÓN	Baja	Alta
	FLEXIBILIDAD VOLUMEN	Baja	Alta
	COSTO	Bajo	Bajo
	CALIDAD	Conformidad	Conformidad
	ENTREGA	Puntual	Puntual

Figura 9. Características líneas de ensamble.

Fuente: Elaboración propia²

² Elaboración propia con base en las características expuestas en Schroeder.

7.3 Relación entre las características de la línea de montaje

En la siguiente figura se muestran las relaciones encontradas entre los elementos de la línea de montaje y los elementos y la planeación de la mano de obra (E18) Se marca con uno (1) la existencia de relación y con cero (0) la no existencia.

#	ELEMENTOS LINEA DE MONTAJE	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	E13	E14	E15	E16	E17	18	
E1	ESTACIÓN DE TRABAJO	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3
E2	TRABAJADOR	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3
E3	RUTA DE PROCESO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
E4	RELACION DE PRECEDENCIA	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
E5	DIAGRAMA DE PRECEDENCIA	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
E6	MOVIMIENTO DE PASO	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	3
E7	TIEMPO DE CICLO	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
E8	AMORTIGUADOR DE TRABAJO EN PROCESO	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2
E9	TASA DE PRODUCCION	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	5
E10	PATRON DE FLUJO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
E11	DISTRIBUCIÓN FÍSICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
E12	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
E13	NIVEL DE PERSONALIZACIÓN	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	6
E14	FORMA DE PRODUCCIÓN	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	4
E15	POLITICA DE INVENTARIOS	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	4
E16	FLEXIBILIDAD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
E17	SINCRONIA EN LA LINEA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
		3	3	5	1	1	2	1	2	1	1	2	6	0	1	3	3	2	7	

Figura 10. Relación elementos de la línea de producción y planeación mano de obra.

Fuente: elaboración propia

La siguiente tabla no muestra de forma específica las relaciones de los elementos de la línea de ensamble con la planeación de la mano de obra.

Tabla 3. Relación elementos línea de ensamble con Planeación de mano de obra

#	ELEMENTOS LINEA DE MONTAJE	PLANEACIÓN MANO DE OBRA
E1	ESTACIÓN DE TRABAJO	Contiene el trabajo asignado Calcular cantidad de estaciones por área disponible Límite de la cantidad de mano de obra
E2	TRABAJADOR	Cantidad de Trabajadores a mantener costo de mano de obra por variaciones en la cantidad a mantener Definición del tipo de costo Curva de aprendizaje rápida del trabajo Tiempo de trabajo diario Capacitación de los trabajadores
E7	TIEMPO DE CICLO	Límite de tiempo para terminar el trabajo
E9	TASA DE PRODUCCION	Objetivo de unidades por tiempo disponible
E12	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	Indicador de ajuste de capacidad para cumplir demanda de consumo
E15	POLITICA DE INVENTARIOS	Aprovechamiento de tiempo no utilizado de mano de obra

Fuente: elaboración propia a partir de la descripción de elementos de la línea de ensamble

Para efectos de planeación, la capacidad real (o efectiva) depende de lo que se piense producir. (Chase, Jacobs F, & Aquilano, 2009) Una medida muy importante es el índice de utilización de la capacidad, el cual revela que tan cerca se encuentra la empresa del mejor punto de operación (Chase, Jacobs F, & Aquilano, 2009):

$$\text{Índice de utilización de la capacidad} = \frac{\text{Capacidad utilizada}}{\text{Mejor nivel de operación}} * 100\%$$

El *tiempo de ciclo* de una línea depende de la *tasa de producción* deseada (o, en algunas ocasiones, del número máximo de estaciones de trabajo permitidas) A su vez, la eficiencia máxima de la línea varía considerablemente según el tiempo de ciclo seleccionado. Por eso, conviene explorar un rango completo de tiempos de ciclo. Un gerente podría adoptar una solución particularmente eficiente, aunque no coincidiera con la tasa de producción, y compensar el desajuste correspondiente modificando el número de horas que funciona la línea, ya sea por medio de tiempo extra, ampliación de turnos o adición de nuevos turnos. La respuesta podría ser incluso el uso de múltiples líneas. Krajewski et al. (2008)

7.3.1 Volumen de producción y Nivel de estandarización.

La operación de la línea de ensamble requiere de productos de alto volumen y que sean estandarizados (Schroeder, Meyer G, & Rungtusanatham M, 2011)

Una línea de modelos mixtos produce varios artículos pertenecientes a una misma familia. En cambio, una línea de un solo modelo produce dicho modelo sin variación alguna. La producción de modelos mixtos permite que una planta alcance tanto un alto volumen como variedad en sus productos. (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008)

7.3.2 Diseño del producto y política de inventarios.

La relación básica entre estas decisiones es como sigue:

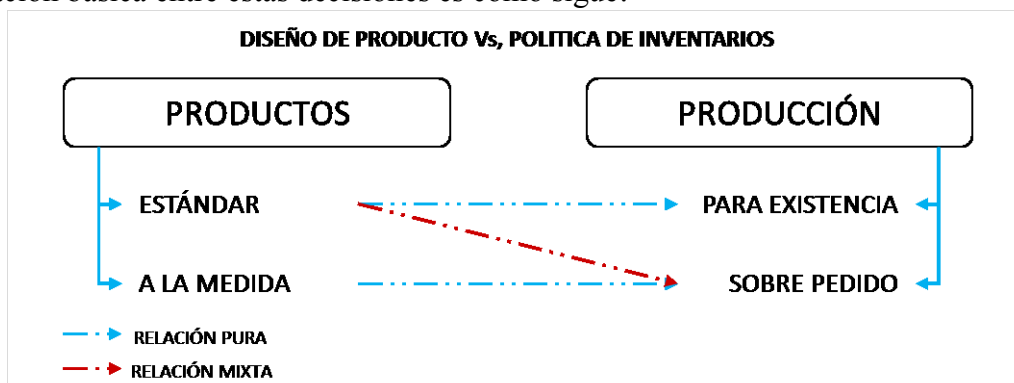


Figura 11. Relación Diseño de producto Vs. Política de inventarios

Fuente: Elaboración propia

Una estrategia mixta entre estas dos decisiones se conoce *como Sistema de producción sobre pedido enfocado a los productos* (GAITHER & FRAZIER, 2000) o *estandarización masiva* (Heizer & Render, 2007) establecido en una **planta de producción por lote** (Sipper & Bulfin Jr, 1998). Que consiste en la existencia de un pequeño grupo de diseños de productos muy estandarizados, pero con accesorios que se pueden agregar para satisfacer a cada cliente en particular. En particular para la estructura de flujo bajo estudio, se sintetiza lo anterior al decir *que los pedidos que llegan del cliente se producen en una línea de ensamble* (GAITHER & FRAZIER, 2000)

Este tipo de planta no produce volúmenes altos; produce en lotes que varían en tamaño desde unas cuantas a miles de unidades. Es posible realizar cierto grado de producción por pedido, aunque no tanto como en el taller intermitente.

Relacionado con el aspecto del diseño del producto se encuentra el **tamaño del lote**. Existe entre ellas una relación inversa, es decir, a mayor variedad de productos menor es el tamaño del lote a

fabricar. Se establece (GAITHER & FRAZIER, 2000) 4 estados básicos en esta relación con el tipo de organización del proceso:

Un producto (estandarizado)	→	Organización enfocada al producto
Más de un producto	→	Sistema por lotes enfocado al producto
Media variedad de productos	→	Manufactura celular
Productos únicos	→	Taller de tareas

7.3.3 Flexibilidad y Volumen de producción.

Las operaciones de manufactura generalmente son intensivas en el uso del capital, lo que simplemente significa que el recurso predominante que se utiliza es el capital y no la mano de obra, por lo que, en la presencia de UNA DEMANDA VARIABLE del producto, el equipo de bienes de capital en los procesos de producción deberá estar diseñado con capacidades de producción cercanas a los niveles pico de la demanda.

Si la disponibilidad de mano de obra directa o buffers son usados para minimizar los efectos adversos de la variabilidad de opciones, deberíamos ver la mayor disponibilidad en las estaciones de trabajo que enfrentan la mayor variabilidad en opciones. La razón para esto es que las estaciones de trabajo con mayor variabilidad necesitaran tener personal en o cerca a los requerimientos para el carro con los más altos contenidos de trabajo para minimizar los tiempos de espera o el re trabajo. (Fisher & Ittner, 1999)

El tipo de mano de obra requerida también depende de la necesidad de flexibilidad en el volumen. Si el proceso está sujeto a picos y depresiones de la demanda la mejor solución suele ser un grupo de empleados eventuales o de tiempo parcial para complementar un núcleo más pequeño de empleados de tiempo completo. (Costos de contratación y despido) (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008)

Una mano de obra flexible tiene la capacidad de realizar múltiples tareas, ya sea en sus propios puestos de trabajo o desplazándose de un sitio a otro. Sin embargo, esa flexibilidad tiene un costo, pues requiere mayores habilidades y, por consiguiente, más capacitación y educación. (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008)

7.3.4 Estación de trabajo y amortiguador

Cuando un proceso no tiene amortiguadores se presentan dos tipos de problemas que (Chase, Jacobs F, & Aquilano, 2009) define como *Bloqueo* y *Privación*.

Bloqueo ocurre se detiene el flujo de la línea por causa de no poder avanzar el producto terminado, no tiene un lugar donde ser colocado. Y la **Privación** ocurre al detenerse la línea por falta de trabajo en la estación.

Se establecen dos clasificaciones. Una es en función del flujo de producto, incluyendo el flujo continuo, una línea de ensamble, un lote, un taller de trabajos y un proyecto. La segunda, en función del tipo de cumplimiento de la orden: el hecho de si el producto se elabora de conformidad con una orden, si se ensambla de conformidad con una orden o si se elabora para almacenarlo. (Schroeder, Meyer G, & Rungtusanatham M, 2011) La línea de ensamble también es clasificada como un proceso repetitivo centrado en el producto y usa módulos para el ensamble; los **módulos** son partes o componentes de un producto preparadas previamente. Con el enfoque de modulo, se obtiene tanto las ventajas económicas del modelo continuo como la ventaja de la personalización del modelo de bajo volumen y alta variedad (Heizer & Render, 2007)

8 Métodos de pronósticos de demanda

El pronóstico se considera que es un instrumento para todos los tipos de planeación y control de los negocios, así mismo Schroeder et al. (2011) lo ve reflejado como insumo en las decisiones de operaciones relacionadas con el diseño del proceso, la planeación de la capacidad y los inventarios.

8.1 Datos

Los datos son el recurso principal para realizar pronósticos y la recolección de datos validos es un de las partes más difíciles (Hanke & Reitsch, 1996) Para analizar los datos es necesario considerar los siguientes elementos: fuentes de datos, clasificación y criterios de evaluación.

8.1.1 Fuentes de datos.

Las fuentes de datos se pueden clasificar en primarias y secundarias. Las fuentes primarias son todos los métodos de recolección de datos originales y se encuentra comúnmente registrada de forma semanal, mensual, trimestral o anual. Y las fuentes secundarias son datos ya publicados. (Hanke & Reitsch, 1996)

Los datos pueden provenir de fuentes de datos externas o datos propios. Las fuentes externas pueden ser dependencias gubernamentales, organismo internacional, organización privada.

8.1.2 Clasificación de datos.

De acuerdo con (Hanke & Wichern, 2006) hay dos tipos de datos para los pronósticos. El primero, son los datos recolectados en un punto del tiempo o datos de corte transversal (hora, día, semana, mes, trimestre) El segundo son las observaciones hechas a lo largo del tiempo o

Series de tiempo. Menciona (Gujarati & Porter, 2010) un tercer tipo, información combinada; estos reúnen elementos de series de tiempo y transversales.

8.1.3 Criterios de evaluación.

Según (Hanke & Reitsch, 1996) se pueden aplicar cuatro criterios para determinar si los datos serán útiles:

- Los datos deben ser confiables y precisos
- Los datos deben ser pertinentes
- Los datos deben ser consistentes
- Los datos deben ser periódicos

8.2 Componentes de los pronósticos de series de tiempo

Las observaciones repetidas de la demanda de un producto o servicio en el orden en que se realizan forman un patrón que se conoce como serie de tiempo. Para el uso de los métodos de análisis de series de tiempo es necesario analizar cuatro factores al momento de aplicar una técnica de pronóstico (ACOSTA R, DÍAZ P, & ANAYA S, 2009) estos son: tendencia, estacionalidad, Ciclicidad y aleatoriedad.

Para (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008) estos factores son llamados patrones de las series de tiempo y menciona y un quinto, el patrón Horizontal. Además, afirma que una serie de tiempo puede contener cualquier combinación de estos patrones.

Cabe resaltar que (CONTRERAS J, ATZIRY ZUÑIGA, MARTINEZ F, & SÁNCHEZ P, 2016) considera que la detección de estos componentes son la aproximación convencional al proceso que genera los datos de la muestra que se quiere estudiar.

Para identificar y determinar los tipos de patrones presentes en la serie es necesario identificar la magnitud y la forma de cada componente con base en los datos históricos disponibles (Schroeder, Meyer G, & Rungtusanatham M, 2011)

8.2.1 Patrón Horizontal.

El patrón horizontal se basa en la media de las demandas, por tanto es necesario estimar el promedio de la serie de datos a través del tiempo (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008) los métodos de estimación utilizados son los siguientes:

MÉTODO	UTILIDAD
Promedio Móvil Simple	Serie sin tendencias
Promedio Móvil Ponderado	Serie sin estaciones
Suavización exponencial	

8.2.2 Patrón de Tendencia.

Para el patrón de Tendencia es conveniente ajustar la curva a una serie de tiempo representada por una ecuación, ya que según (Hanke & Wichern, 2006) proporciona cierta indicación de la dirección general de la serie observada.

Las ecuaciones de tendencias en el tiempo pueden ajustarse a los datos por medio del método de mínimos cuadrados. Mediante este método se asegura que los valores estimados a través de los coeficientes de la ecuación son los más cercanos a los valores reales. (Hanke & Reitsch, 1996)

8.2.3 Patrón Estacional

Existe cuando una serie es afectada por factores estacionales. Estos factores son causa de eventos ocurridos en épocas del año, del mes o días puntuales de la semana. (Makridakis, Wheelwright, & Hyndman, 1997)

8.2.4 Patrón Cíclico

Existe cuando los datos muestran aumentos y caídas cíclicas que no son de un periodo fijo. Se puede diferenciar el patrón cíclico del estacional ya que la variación del primero es mayor.

8.2.5 Coeficiente de correlación.

Considera que las observaciones de una variable que se mide a lo largo del tiempo están correlacionadas, y esta se mide a través de un coeficiente de autocorrelación. La autocorrelación es la correlación que existe entre una variable retrasada, uno o más periodos, consigo misma. Para la exploración de patrones de datos en series de tiempo se usa la autocorrelación. (Hanke & Reitsch, 1996)

El coeficiente de autocorrelación se calcula de la siguiente manera:

$$r_k = \frac{\sum_{t=k+1} (Y_t - \bar{Y})(Y_{t-k} - \bar{Y})}{\sum_{t=1} (Y_t - \bar{Y})^2} \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

La representación gráfica de estos coeficientes se llama Correlograma.

PATRON	COMPORTAMIENTO CORRELACIÓN
ALEATORIO	Valores cercanos a cero.
TENDENCIA	Valores cercanos a 1. Disminución gradual al aumentar el número de retrasos.
ESTACIONAL	Valor cercano a 1 en tiempo estacional o múltiplos. Retraso estacional: 4 para trimestres, 12 para meses.

Tabla 4. Comportamiento correlación.

Fuente: (Hanke & Reitsch, 1996)

Un método llamado *construcción de diferencias* puede usarse para eliminar la tendencia de una serie no estacionaria.

La significancia estadística de cualquier coeficiente de correlación se juzga mediante el error estándar. Para probar la significancia se utilizan el estadístico Q o el estadístico Ljung – Box. Con estos estadísticos se busca probar si los coeficientes de autocorrelación son iguales a cero. (Gujarati & Porter, 2010)

En la práctica, si el estadístico calculado excede el valor del estadístico crítico de la distribución ji cuadrada en el nivel de significancia seleccionado, podemos rechazar la hipótesis nula de que todos los coeficientes de autocorrelación son iguales a cero.

8.3 Clasificación métodos de pronóstico

De acuerdo con (ACOSTA R, DÍAZ P, & ANAYA S, 2009) los métodos se han clasificado en cualitativos y cuantitativos. La mayoría de empresas mantienen registros de datos numéricos, por tanto se hace referencia a los cuantitativos. Otros autores como (CONTRERAS J, ATZIRY ZUÑIGA, MARTINEZ F, & SÁNCHEZ P, 2016) presentan una ampliación a esta división y establecen 3 grupos para la clasificación de los métodos de pronóstico: Cualitativos, de Proyección histórica y Causales. Los primeros son comúnmente utilizados cuando no se poseen datos. Los segundos se utilizan cuando se dispone de datos y el pronóstico se basa en el patrón histórico. Y los métodos causales asumen que el factor o variable dependiente a pronosticar es explicada por una relación de una o más variables independientes.

8.3.1 Técnicas de pronóstico.

Dentro de las técnicas de pronóstico cuantitativas y del grupo de estudio de las Series de tiempo se encuentran clasificadas las siguientes (ACOSTA R, DÍAZ P, & ANAYA S, 2009)

Tabla 5. Técnicas de pronóstico

Técnica	Patrón de comportamiento
Promedio simple	Horizontal – Tendencia
Promedio móvil	Horizontal – Tendencia
Suavización exponencial simple	Tendencia
Suavización exponencial doble	Tendencia
Suavización lineal (Suavización exponencial de Holt)	Tendencia
Métodos estacionales	Estacionalidad
Promedio Móvil Auto Regresivos (ARMA)	
Regresión simple	Tendencia
Regresión múltiple	
Métodos de pronóstico combinados	
Métodos de pronóstico con Redes Neuronales	
Análisis envolvente de datos.	
Método de Pronóstico de Box – Jenkins	
Modelo de Winters Multiplicativo y aditivo	

Método de pronóstico con control Fuzzy	
Método de Holt – Winters	Tendencia- Estacionalidad- Ciclo
Método de Croston	

Fuente: (ACOSTA R, DÍAZ P, & ANAYA S, 2009)

8.3.2 Aplicación de métodos de acuerdo a patrón.

Encontramos que las técnicas de pronóstico para series de tiempo más comunes en la bibliografía son:

TÉCNICA	PATRON DE COMPORTAMIENTO	DESCRIPCIÓN
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL SIMPLE	TENDENCIA	Este método de promedio móvil ha sido diseñado para datos o variables que presentan un patrón de comportamiento horizontal.
PROMEDIO MÓVIL SIMPLE	TENDENCIA	Este método de promedio móvil ha sido diseñado para datos o variables que presentan un patrón de comportamiento horizontal.
BOX - JENKINS (ARIMA)	TENDENCIA ESTACIONALIDAD CICLICIDAD	Cualquier serie de datos historicos
SUAVIZACIÓN EXPONENCIAL CON TENDENCIA (HOLT)	TENDENCIA	Se aplica cuando los datos del pasado no siguen un patrón horizontal sino que presentan un patron de tendencia.
METODO DE HOLT - WINTERS	TENDENCIA ESTACIONALIDAD	Se aplica cuando los datos del pasado presentan patrones tendencias y patrones estacionalidad
DESCOMPOSICIÓN DE LAS SERIES DE TIEMPO	TENDENCIA ESTACIONALIDAD CICLICIDAD	0
PROMEDIO MÓVIL PONDERADO	TENDENCIA	Este método de promedio móvil ha sido diseñado para datos o variables que presentan un patrón de comportamiento horizontal.

Tabla 6. Técnicas de pronóstico comunes
Fuente: elaboración propia

8.3.3 Descripción de los métodos de pronóstico

8.3.3.1 Suavización exponencial.

El pronóstico para un periodo cualquiera es igual al pronóstico del periodo anterior, corregido con una fracción del error cometido en el pronóstico de ese mismo periodo anterior.

(CEBALLOS CUARTAS, 2013)

El modelo matemático correspondiente es:

$$P_t = P_{t-1} + \alpha (D_{t-1} - P_{t-1}) \text{ o,}$$

$$P_t = \alpha D_{t-1} + (1-\alpha)P_{t-1}$$

Donde,

P_t = Pronóstico para el período t.

P_{t-1} = Pronóstico para el período anterior al período t.

D_t = Demanda real del periodo t.

D_{t-1} = Demanda real del período anterior al período t.

$D_{t-1} - P_{t-1}$ = Error en el pronóstico del periodo anterior al período t.

α = Fracción del error.

8.3.3.2. *Promedio móvil simple.*

En este método para un periodo cualquiera se obtiene promediando valores reales de n periodos del pasado inmediato de la variable. (CEBALLOS CUARTAS, 2013)

El modelo matemático es:

$$P_{t+1} = \frac{\sum X}{n}$$

8.3.3.3. *Metodología arima (box – jenkins).*

(Gujarati & Porter, 2010) En esta metodología se busca que los datos hablen por sí mismos, es decir que el pronóstico se explica por valores pasados o rezagados de sí misma y por los términos de error estocásticos.

El método considera 4 pasos:

1. **Identificación:** encontrar los valores apropiados de p, d y q.

Se realiza a través de la Función de autocorrelación (FAC) y la Función de autocorrelación parcial (FACP) y los correlogramas.

2. **Estimación:** después de identificar los valores de p y q , lo siguiente es estimar los parámetros de los términos Autorregresivos y de promedios móviles.
3. **Examen diagnóstico:** después de seleccionar un modelo ARIMA y de estimar sus parámetros, se verifica que se ajusta a los datos. es posible que exista otro modelo que también se ajuste. Una prueba del modelo es ver si los residuales del modelo son de ruido blanco, si no hay que empezar de nuevo. Por tanto, la metodología BJ es un proceso iterativo.
4. **Pronóstico.**

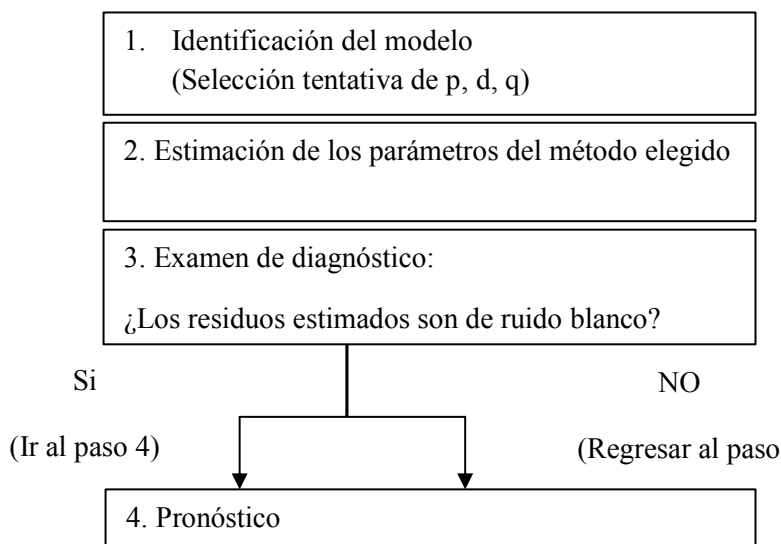


Figura 12. Metodología de Box – Jenkins.

Fuente: (Gujarati & Porter, 2010)

8.3.3.4. *Suavización exponencial con tendencia (holt).*

Para este método, el pronóstico para un periodo será igual al pronóstico para ese mismo periodo calculado con suavización exponencial simple, adicionada de la tendencia, que es la diferencia

de los dos últimos valores reales anteriores al periodo a pronosticar. (CEBALLOS CUARTAS, 2013)

El modelo matemático es:

$$F_{t+1} = A_t + T_t$$

$$A_t = \alpha D_t + (1 - \alpha) * (A_{t-1} + T_{t-1})$$

$$T_t = \beta(A_t - A_{t-1}) + (1 - \beta) * T_{t-1}$$

Donde

A_t = promedio suavizado exponencialmente de la serie en el período t

T_t = promedio suavizado exponencialmente de la tendencia en el período t

α = parámetro de suavización para el promedio, con un valor entre cero y 1

β = parámetro de suavización para la tendencia, con un valor entre cero y 1

F_{t+1} = pronóstico para el periodo t+1

8.3.3.5. Método holt – Winters.

Este método es una extensión del método de Holt. El método de Winters usa una ecuación adicional para estimar la estacionalidad. Se crea un índice (proporción) resultante de dividir la demanda actual entre la estimación del promedio actual, que pueda utilizarse de forma multiplicativa, con el fin de ajustar un pronóstico y explicar los picos y valles estacionales. (Hanke & Wichern, 2006)

Se utilizan cuatro ecuaciones en la suavización por este método:

1. Nivel de la serie

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} - T_{t-1})$$

2. Estimado de la tendencia

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1}$$

3. Estimado de la estacionalidad

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s}$$

4. Pronostico del periodo p en el futuro

$$\hat{Y}_{t+p} = (L_t + pT_t)S_{t-s+p}$$

Donde,

L_t = nuevo valor suavizado o nivel actual estimado

α = constante de suavización para el nivel

Y_t = nueva observación o valor real en el periodo t

β = constante de suavización para el estimado de la tendencia

T_t = estimado de la tendencia

γ = constante de suavización para el estimado de la estacionalidad

S_t = estimado de la estacionalidad

p = número del período futuro a pronosticarse

s = longitud de la estacionalidad

\hat{Y}_{t+p} = pronóstico para el período p en el futuro

Para inicializar el método es posible utilizar los siguientes recursos:

- De acuerdo con (Hanke & Wichern, 2006) se puede fijar el primer estimado de la serie suavizada (nivel) igual a la primera observación. La tendencia se estima para que sea igual a cero y los índices estacionales se fijan en 1.0 cada uno.
- De acuerdo con Makridakis, el nivel se inicializa con el promedio de los datos de la primera estación, para la tendencia es conveniente usar dos estaciones completas así:

$$b_s = \frac{1}{s} \left[\frac{Y_{s+1} - Y_1}{s} + \frac{Y_{s+2} - Y_2}{s} + \dots + \frac{Y_{s+s} - Y_s}{s} \right]$$

Los índices estacionales son calculados usando el ratio de los primeros datos sobre la media del primer año, así:

$$S_1 = \frac{Y_1}{L_s}, S_2 = \frac{Y_2}{L_s}, \dots, S_s = \frac{Y_s}{L_s}$$

Los parámetros α , β y γ pueden ser obtenidos minimizando el Error Cuadrado Medio o el Error Porcentual Absoluto Medio. Y una aproximación para obtener estos valores es usar un algoritmo de optimización no lineal para encontrar los valores óptimos de los parámetros.

Para seleccionar un método de pronóstico deben considerarse:

- El tipo de productos
- Los objetivos
- Limitantes

8.3.3.6. Descomposición de la serie de tiempo

Este método de pronóstico trata de identificar dos componentes básicos del patrón por separado, para caracterizar la serie de tiempo. Las cuales son el patrón de tendencia-ciclicidad y estacionalidad. Puede asumir un modelo multiplicativo o aditivo. (Makridakis, Wheelwright, & Hyndman, 1997)

El modelo multiplicativo se expresa así: $Y_t = S_T \times T_t \times E_t$

Estos son los pasos para descomponer los patrones de comportamiento de la serie:

Paso 1: se calcula la tendencia usando un promedio móvil centrado de doce términos.

Paso 2: des estacionalizar, se utiliza la siguiente ecuación: $R_t = Y_t/T_t$

Paso 3: estimar los índices estacionales tomando el promedio de todos los valores des estacionalizados por cada mes. (Makridakis, Wheelwright, & Hyndman, 1997)

8.4 Evaluación de los métodos de pronóstico

Las siguientes cuatro medidas de precisión de pronóstico se utilizan para:

- Comparar la precisión de dos (o más) técnicas diferentes
- Medir la utilidad o confiabilidad de una técnica específica
- Ayuda a buscar una técnica óptima.

Desviación absoluta media (MAD, del inglés mean absolute deviation)

Mide la precisión del pronóstico al promediar las magnitudes de los errores de pronóstico. Es útil cuando se quiere medir el error de pronóstico en las mismas unidades que la serie original. Está dado por la siguiente ecuación:

$$MAD = \frac{1}{N} * \sum_{t=1}^n |Y_t - \hat{Y}_t|$$

Error cuadrático medio (MSE, del inglés mean squared error)

Cada error de pronóstico o residual se eleva al cuadrado; luego, se suman y se dividen entre el número de observaciones. Este método penaliza los errores grandes de pronóstico. Está dado por la siguiente ecuación:

$$MSE = \frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2$$

Error porcentual absoluto medio (MAPE, del inglés mean absolute percentage error)

Se calcula al encontrar el error absoluto en cada periodo, dividiéndolo entre el valor real observado para ese periodo y luego promediando los errores porcentuales absolutos. Proporciona una indicación de cuan grandes son los errores del pronóstico en comparación con los valores reales de la serie. Está dado por la siguiente ecuación:

$$MAPE = \frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n \frac{|Y_t - \hat{Y}_t|}{Y_t}$$

Error porcentual medio (MPE, del inglés mean percentage error)

Se calcula al encontrar el error en cada periodo y al dividir el resultado entre el valor real para dicho periodo; a continuación se promedian los estos errores porcentuales. Si el método de pronóstico no tiene sesgo, el MPE producirá un número cercano a cero. Está dado por la siguiente ecuación:

$$MPE = \frac{1}{n} * \sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - \hat{Y}_t)}{Y_t}$$

9 Costos en la contratación de empleados

Las variaciones en la demanda de consumo trae consigo la necesidad de pensar en las necesidades de mano de obra para atender esa demanda. Para definir la cantidad de trabajadores se aplica la política de mantener o contratar y despedir mano de obra directa. Cualquiera de las dos tiene una afectación en los costos. Muchos costos afectan el plan de producción. En términos generales son los costos de producción, los costos de inventario y los costos de cambiar la capacidad (Sipper & Bulfin Jr, PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN, 1998). En cuanto a mano de obra tenemos los siguientes:

9.1 Costos en la gestión de la fuerza de trabajo

Según (Grados E J. A., 2013) en la organización existen costos de rotación de los trabajadores que están relacionados con la separación de un trabajador y con el proceso de reemplazar al mismo. Para (Sipper & Bulfin Jr, 1998) los costos de cambio en la capacidad incluyen la contratación y capacitación de trabajadores, y pueden incluir un costo de la capacidad perdida hasta que el trabajador esté bien entrenado. Al despedir trabajadores se incurre en costos directos de separación y costos similares a la pérdida de buena voluntad. Una compañía que despide trabajadores con frecuencia encuentra difícil contratarlos.

También, afirma que estos están divididos en 3 categorías:

- **Costo de separación de empleado que se va:** costo de salario y prestaciones para la persona que gestiona el proceso de contratación y del empleado que se va.
- **Costo de reemplazo:** costo de las funciones administrativas para el reemplazo, es decir de todas las actividades del proceso de contratación.

- **Costo de capacitación para el nuevo empleado:** se refiere al costo del material de capacitación, honorarios del instructor externo o sueldo si es interno. También, el sueldo y prestaciones del empleado durante el tiempo de capacitación.

Así mismo, (CHIAVENATO, 2007) Plantea que los costos relacionados con la rotación de personal implican costos primarios, secundarios y terciarios.

Tabla 7. Costos relacionados con la rotación del personal

COSTO	DESCRIPCIÓN	COSTO ASOCIADO
Primario	Relacionados directamente con la separación de cada empleado y sustitución por otro directamente con la separación de cada empleado y sustitución por otro	Reclutamiento y selección. Registro y documentación. Integración. Separación.
Secundarios de la rotación de personal	Se refiere a los efectos colaterales e inmediatos de la rotación.	Repercusiones en la producción. Repercusiones en la actitud del personal. Laboral extraordinario. Operativo extra.
Terciarios	Estimables	Inversión adicionales Perdidas en los negocios

Fuente: elaboración propia con base en (CHIAVENATO, 2007)

Es decir que los principales costos generados por la rotación del personal son:

COSTO DE ROTACIÓN PRINCIPAL						
SEPARACION	+	RECLUTAMIENTO Y SELECCIÓN	+	INTEGRACION	+	REGISTRO Y DOCUMENTACIÓN

Además, se presentan los siguientes costos derivados del periodo vacante y de adaptación descrito por (CHIAVENATO, 2007) como costos secundarios:

COSTO DE ROTACIÓN SECUNDARIOS		
POR TIEMPO EXTRA PERIODO VACANTE	+	POR MENOR PRODUCCION PERIODO VACANTE

9.1.1 Costos de operación.

En las líneas de ensamble se presentan 2 situaciones que generan efectos en costo, estas son bloqueo y privación (Chase, Jacobs F, & Aquilano, 2009) El bloqueo ocasiona costo por sobre tiempo y la privación ocasiona costo por tiempo de espera (YONGQIAN, YUNPENG, BO, & YONGSHENG, 2011) Reducir la brecha entre los recursos y las necesidades reduce los costos de operación (Krajewski, Ritzman, & Malhotra, 2008)

Costo de contratación.

En la organización los costos de contratación son inherentes al proceso. Según el área de gestión humana este proceso se subcontrata, es decir que el costo es el precio por cada trabajador cobrado por la empresa proveedora de personal. Así,

$$C_{co} = CU_{co} \times T_{co}$$

Donde,

C_{co} : Costo total por contratación de trabajadores
 CU_{co} : Costo unitario por contratación de un trabajador
 T_{co} : Número de trabajadores contratados

En síntesis, los costos que tiene efecto sobre la planeación de la mano de obra son los siguientes:

Tabla 8. Impacto costos sobre planeación de mano de obra

COSTO	EFECTO SOBRE PLANEACIÓN MANO DE OBRA	INCLUYE
Separación	Aumento del costo total. Perdida de trabajadores entrenados. Disminución pago de salarios.	Sueldo administrativo Sueldo trabajador separado
Reclutamiento y selección	Aumento del costo total en periodos de aumento de producción.	Sueldo administrativo
Integración	Aumento del costo total	Sueldo instructor Sueldo trabajador entrenado
Tiempo extra periodo reclutamiento alza producción	Aumento del costo total	

Fuente: elaboración propia

10 Normas, tipos y condiciones para la contratación laboral en Colombia

A lo largo de este trabajo se ha buscado establecer entre otras cosas una relación entre la demanda de carrocerías que maneja la empresa y la mano de obra necesaria para cumplir con ese objetivo; pero, no podría solo realizarse una estimación numérica de personal sin tener en cuenta las normas establecidas en Colombia en materia de contratación laboral. Por esta razón es indispensable para la empresa conocer la normatividad laboral vigente para la contratación de personal, los tipos de contratos y condiciones laborales exigidas en el marco normativo colombiano. A continuación se realizará una breve descripción de las reglas y pautas que debe tener en cuenta la empresa en la relación contractual laboral.

Cabe aclarar ¿Qué es un contrato de trabajo? y ¿Cuáles son sus elementos?, para responder esas preguntas se remitirá al Código Sustantivo del Trabajo (CST, 2018) en sus artículos 22 y 23, mediante los cuales se establece que: “Contrato de trabajo es aquel por el cual una persona natural se obliga a prestar un servicio personal a otra persona, natural o jurídica, bajo la continuada dependencia o subordinación de la segunda y mediante remuneración”. Es decir, mediante dicho contrato las partes se obligan recíprocamente, el Trabajador a prestar un servicio de manera personal y el Empleador a dar una remuneración o salario como contraprestación. Respecto de los elementos esenciales, es importante que concurren los siguientes elementos para que un contrato sea de trabajo:

- La actividad personal del trabajador, es decir, realizada por sí mismo.
- La subordinación o dependencia del trabajador de forma continuada con respecto al empleador, quien en base a esto puede exigirle el cumplimiento de órdenes y reglamentos, todo esto sin que afecte el honor, la dignidad y los derechos mínimos del trabajador.

- Un salario como retribución del servicio.

Sumado a la definición y elementos del contrato de trabajo descritos anteriormente es necesario que la empresa conozca las modalidades del contrato de trabajo, es decir la forma, contenido, duración, terminación entre otras características, para que de acuerdo a la necesidad de mano de obra y la demanda de carrocerías, la empresa sea capaz de fijar el tipo de contrato que mejor se ajusta a cada labor, así como también que el tipo de contrato pueda tener una repercusión favorable en los costos de contratación de la empresa. Para tal efecto nuevamente se remitirá al Código Sustantivo del Trabajo en sus artículos 37 y siguientes.

10.1 Normas para la contratación laboral en Colombia

Tabla 9. Normas para la contratación laboral en Colombia

DECRETO	LEY	DECRETO LEY
2663 de 1950	50 de 1990	3743 de 1950 Código sustantivo del trabajo en Colombia
617 de 1954	789 de 2002	
2351 de 1965	962 de 2005	

Fuente: (CST, 2018)

10.1.1 Modalidades del contrato de trabajo

El contrato de trabajo se divide en dos modalidades, a continuación se describen dichas modalidades esto es según su forma y según su duración:

Tabla 10. Modalidades del contrato de trabajo

Requisitos	MODALIDADES DEL CONTRATO DE TRABAJO SEGÚN FORMA	
	Verbal (Art. 38 C.S.T.) Debe pactarse necesariamente	Escrito (Art. 39 C.S.T.) Debe contener necesariamente
Descripción del trabajo	X	X
Lugar de ejecución	X	X
Cuantía y forma de Remuneración	X	X
Duración del contrato	X	X
Causales de terminación del contrato	NA	X

Identificación y domicilio de las partes	NA	X
Lugar y fecha de celebración del contrato	NA	X

Fuente: Código sustantivo del trabajo

Tabla 11. Modalidades del contrato de trabajo.

MODALIDADES DEL CONTRATO DE TRABAJO			
Características	SEGÚN DURACIÓN		
	A Terminó fijo (Art. 46 C.S.T.)	A terminó Indefinido (Art. 47 C.S.T.)	Por Obra o labor
Forma	Debe constar siempre por escrito.	Puede ser verbal o escrito.	Puede ser verbal o escrito.
Vigencia	El término del contrato no podrá exceder 3 años.	El contrato tendrá vigencia mientras existan las causas que le dieron origen.	Determinada por obra, o la naturaleza de la labor contratada.
Renovación	Puede ser renovado indefinidamente.	NA	Se refiere a un trabajo ocasional o transitorio
Preaviso	30 días antes de la terminación del contrato, de lo contrario se renovará por un periodo igual al inicialmente pactado.	Aviso escrito con antelación de 30 días para la terminación del contrato.	No requiere preaviso para su terminación.
Prorroga	Término fijo inferior a un año, solo podrá prorrogarse hasta por 3 periodos. Después la renovación no podrá ser inferior a 1 año.	NA	NA

Fuente: Código sustantivo del trabajo

De conformidad con la información anterior es claro que el origen del contrato de trabajo tiene dos aristas, de acuerdo a su forma y a su duración, razón por la cual la empresa ya podría determinar el contrato de trabajo más idóneo, según el tipo de labor y la duración de la misma; y de esta manera no incurrir en gastos innecesarios por ejemplo, contratando a término indefinido a un operario, cuando por la temporalidad de la labor que va a desempeñar, el contrato debería ser por obra o labor o a término fijo.

Es importante tener claridad en los tipos de contratos que puede hacer uso la empresa; sin embargo, en la ejecución del contrato, puede que el empleador por circunstancias que se presenten durante la duración del contrato, considere su terminación incluso de manera anticipada, razón por la cual a continuación se detallara la terminación del contrato de trabajo sus causas y efectos en las finanzas de la empresa.

10.1.2 Modos de terminación del contrato de trabajo

Las circunstancias en las cuales el contrato de trabajo termina están descritas en el artículo 61 del Código Sustantivo del Trabajo, las cuales se detallan a continuación:

1. El contrato de trabajo terminará:

- a) Por muerte del trabajador
- b) Por mutuo consentimiento
- c) Por expiración del plazo fijo pactado
- d) Por terminación de la obra o labor contratada
- e) Por liquidación o clausura definitiva de la empresa o establecimiento
- f) Por suspensión de actividades por parte del empleador durante más de ciento veinte (120) días
- g) Por sentencia ejecutoriada
- h) Por decisión unilateral en los casos determinados por la ley
- i) Por no regresar el trabajador a su empleo, al desaparecer las causas de la suspensión del contrato.

2. En los casos contemplados en los literales e) y f) el empleador deberá solicitar el correspondiente permiso al Ministerio de Trabajo e informar por escrito a sus

trabajadores de este hecho. El Ministerio de Trabajo resolverá lo relacionado con el permiso en un plazo de dos (2) meses.

Cabe aclarar que las causales señaladas arriba hacen referencia a los momentos en los cuales se considera terminado el contrato de trabajo, sin embargo hasta este punto el empleador no estaría incurriendo en ningún gasto por causa de la terminación, lo anterior significa que existen circunstancias durante la terminación del contrato de trabajo que obligarían al empleador a incurrir en un gasto.

Refiriéndose más exactamente a los costos en que incurriría una compañía en el momento en que por diferentes circunstancias sea necesario prescindir de un trabajador, es importante aclarar los tipos de terminación del contrato, que se describen a continuación:

10.1.2.1 Terminación unilateral del contrato de trabajo.

Como cualquier contrato, en el Contrato laboral también va envuelta la condición resolutoria por el incumplimiento de lo pactado, es decir en caso de incumplimiento de las obligaciones del contrato de trabajo ya sea por parte del Empleador o del Empleado, la parte Cumplida puede terminar el contrato de manera inmediata e unilateralmente.

En este entendido las empresas tienen la facultad de dar por terminado de manera unilateral el contrato de trabajo en caso de que el Empleado incumpla una de las obligaciones que se pactaron entre las partes, incluso si el plazo estipulado aún no ha expirado.

Para el caso en que el Empleador tome la decisión de dar por terminado de manera unilateral y anticipada el contrato de trabajo a uno de sus Empleados, tendrá que tener en cuenta los siguientes posibles escenarios:

Tabla 12. Terminaciones unilaterales del contrato de trabajo y costos

Elementos	Con Justa Causa	Sin Justa Causa
Definición	El Empleador podrá dar por terminado el contrato de trabajo Con Justa Causa comprobada, cuando el Empleado incurra en alguna de las faltas descritas en el artículo 62 del CST, en cuyo caso el Empleador debe manifestar a su Empleado la causal o motivo de la terminación.	El empleador podrá dar por terminado el contrato de trabajo Sin Justa Causa, en cualquier momento, sin embargo debe tener en cuenta que la terminación anticipada implicará un incumplimiento de sus obligaciones contractuales, razón por la cual deberá al Empleado una indemnización de perjuicios.
Costo	El Empleador estará en la obligación de realizar el pago de las prestaciones sociales al Empleado, de manera proporcional al tiempo laborado.	El Empleador estará en la obligación de realizar el pago de las prestaciones sociales al Empleado, de manera proporcional al tiempo laborado más el pago de una indemnización que comprenderá el daño emergente y el lucro cesante.

Fuente: (CST, 2018)

De conformidad con lo anterior el artículo 64 del (CST, 2018), fijó los montos a pagar por parte del Empleador que da por terminado el contrato de trabajo de manera unilateral, anticipada y sin justa causa, según el tipo de contrato son:

A. Termino Fijo

La indemnización a pagar al Empleado, es el valor de los salarios correspondientes al tiempo que faltare para cumplir el plazo estipulado del contrato y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Indemnización} = \text{Tiempo que faltare del contrato} \times \text{Salario}$$

B. Por obra o labor

La indemnización a pagar al Empleado, es el valor de los salarios correspondientes al tiempo que faltare para cumplir el plazo estipulado del contrato y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Indemnización} = \text{Tiempo que faltare del contrato} \times \text{Salario}$$

Restricción: En los casos A y B el valor de la indemnización no puede ser inferior a 15 días de salario.

C. Término Indefinido

En los contratos a término indefinido la indemnización se pagará así:

- i. Para trabajadores que devenguen un salario inferior a diez (10) salarios mínimos mensuales legales:
 1. Treinta (30) días de salario cuando el trabajador tuviere un tiempo de servicio no mayor de un (1) año.
 2. Si el trabajador tuviere más de un (1) año de servicio continuo se le pagarán veinte (20) días adicionales de salario sobre los treinta (30) básicos del numeral 1, por cada uno de los años de servicio subsiguientes al primero y proporcionalmente por fracción;
- ii. Para trabajadores que devenguen un salario igual o superior a diez (10), salarios mínimos legales mensuales.
 1. Veinte (20) días de salario cuando el trabajador tuviere un tiempo de servicio no mayor de un (1) año.
 2. Si el trabajador tuviere más de un (1) año de servicio continuo, se le pagarán quince (15) días adicionales de salario sobre los veinte (20) días básicos del numeral 1 anterior, por cada uno de los años de servicio subsiguientes al primero y proporcionalmente por fracción.

10.1.3. Cantidad máxima de despidos

De acuerdo con la ley 50 existen límites para realizar despidos por grupos de trabajadores. El artículo 67 de esta ley establece la protección en caso de despidos colectivos. La proporción de trabajadores máxima a despedir cada 6 meses, por cada rango de trabajadores contratados en una empresa, se describe en la siguiente tabla:

Tabla 13. Máxima cantidad de trabajadores a despedir

NUMERO DE TRABAJADORES	CANTIDAD DE DESPIDOS
10 – 50	30%
51 – 100	20%
101 – 200	15%
201 – 500	9%
501 – 1000	7%
1001 – +	5%

Fuente: Ley 50

10.2 Requisitos para la contratación en la organización.

Para Superpolo se consideran como requisitos básicos de los trabajadores considerados como mano de obra directa, los siguientes:

Tabla 14. Requisitos para la mano de obra directa en Superpolo SAS

Contenido del trabajo	Naturaleza del trabajo	Repetitivo Semi automático
Habilidad física	Entrenamiento	Manejo de herramientas
Habilidad mental	Escolaridad	Secundaria
	Experiencia en las funciones	1 año
Responsabilidades	Procesos	Ejecución del trabajo en tiempo requerido.
Esfuerzo	Esfuerzo físico	Fuerza física requerida Postura
	Esfuerzo mental	Atención visual y auditiva Volumen y ritmo de trabajo

Condiciones de trabajo	Área de trabajo	
	Condiciones de trabajo	Ruidoso, iluminado, cambios de temperatura,
	Riesgos para el trabajador	Sufrir accidentes

Fuente. Elaboración propia con base en (Grados E J. A., 2013)

10.2.1 Competencia para el trabajo

Se requieren trabajadores con habilidades en: Manejo de herramientas neumáticas, Habilidades en ensamble de componentes, Habilidad en la interpretación de planos.

Estas habilidades requieren tiempo para el aprendizaje en los trabajadores nuevos:

HABILIDAD	TIEMPO DE APRENDIZAJE
Manejo Herramientas neumáticas	20 días
Ensamble de componentes	30 días
Interpretación de planos	10 días

10.2.2 Área disponible de la estación de trabajo.

Cada estación de trabajo tiene espacio limitado para la ejecución de las tareas de los trabajadores sin que exista interferencia de operaciones, de materiales o equipos auxiliares.

10.2.3 Tiempo de ciclo restringido por equipamiento de las estaciones de trabajo.

Se requieren equipamientos especiales como plantillas, plataformas de elevación, deprimidos en el piso entre otros herramientas de gran dimensión y manipulación que determinan los mínimos tiempos de flujo en la secuencia de operaciones.

10.2.4 Restricciones por políticas de la empresa.

La organización estableció un límite para la cantidad de horas extras a utilizar por semana, este límite es un porcentaje respecto a las horas disponibles.

El tipo de contrato actual para la mano de obra directa está definido como un contrato de trabajo a término fijo de un año.

10.3 Modelo lineal para contratación y despido con restricciones basadas en el marco legal

Con base en los requisitos de Superpolo y los requisitos legales podemos compararlos para determinar las brechas; y también, los requisitos a tener en cuenta para la contratación y despido de mano de obra.

Tabla 15. Comparación requisitos legales y de la empresa.

Requisito legal	Actos Superpolo SAS	BRECHAS
Contrato a término fijo.	Contratar a término fijo.	Requisito cumplido
Contrato a término indefinido.	Contratar a término indefinido.	Requisito cumplido
Contrato por obra o labor.	_____	Explorar utilidad de otras modalidades de contratos
Tiempo extra máximo 12 horas semanal y 2 horas diarias.	Programar horas extras 6 días a la semana	Establecer metas de horas extra con base en el CST en la planeación de la mano de obra
Terminación del contrato	No renovar contratos cuando finaliza la duración contratada.	Requisito cumplido
Protección en caso de despido colectivo	Despedir trabajadores por grupos.	Utilizar como parámetro de control las proporciones dadas en la ley 50 para despidos colectivos.
Terminación sin justa causa	Pagar indemnización por la terminación del contrato antes del tiempo pactado.	Requisito cumplido
Terminación con justa causa	_____	_____

Fuente: elaboración propia

10.3.1 Modelo lineal

$$\begin{aligned} \min Z = & C_{Con} * \sum_{i=1}^n X_{1i} + C_{Desp} * \sum_{i=1}^n X_{2i} + S_{\bar{x}} * \sum_{i=1}^n X_{4i} + C_{TEEx} * \sum_{i=1}^n X_{3i} \\ & + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{\bar{x}} * Mfalta_j * X_{5ij} + \sum_{i=1}^n S_{\bar{x}} * (X_{4i} - B_i) \end{aligned}$$

Restricciones:

Demanda de carrocerías

$$X_{4i} = O_0 + X_{4(i-1)} + X_{1i} - X_{2i}$$

$$HT * X_{4i} + X_{3i} \geq Tmax_i * D_i$$

Horas extra

$$X_{3i} \leq 48X_{4i}$$

Tiempo para Indemnización

$$Mfalta_j * X_{5ij} \geq 0,5 * X_{5ij}$$

Límite de despedidos por periodo

$$\sum_{i=1}^n X_{5ij} \leq Cont_mes_j$$

Límite de despedidos cada 6 meses

$$\sum_{i=1}^n X_{5ij} \leq Cont_mes_j$$

Total a despedir

$$X_{2i} = \sum_{j=1}^n X_{5ij}$$

Variables:

i : periodos del horizonte de planeación (en meses)
 j : periodo en el que se contrató (en meses)
 $X1_i$: Cantidad de empleados a contratar en el periodo i
 $X2_i$: Cantidad de empleados a despedir en el periodo i
 $X3_i$: Cantidad de horas extra utilizadas para el periodo i
 $X4_i$: cantidad de trabajadores a tener en el periodo i
 $X5_{ij}$: cantidad de personas a despedir en el periodo i y contratados en el periodo j

Parámetros:

C_{Con} : Costo de contratación
 C_{Des} : Costo por despido
 C_{TEEx} : Costo del tiempo extra
 HT : horas por cada turno
 $S_{\bar{X}}$: Salario promedio de empleado mano de obra directa
 $Díaslab_i$: Cantidad de días laborales por mes
 D_i : demanda mensual agregada de carrocerías
 O_0 : cantidad inicial de mano de obra.
 T_{MAXi} : Tiempo máximo de las carrocerías del mix mensual
 B_i : empleados calculados en el balance de línea
 $Cont-mes_j$: mano de obra contratada meses anteriores
 $Mfalta_j$: meses que faltan para terminar el contrato

11 Método de balance de línea

El método COMSOAL es un método para la solución de problemas de equilibrado de líneas de fabricación o ensamble. La sigla corresponde a Computer Method for Sequencing Operations for Assembly Lines.

En (Restrepo, Medina V, & Cruz T, 2008) se describen los pasos que componen el método. A continuación los mencionamos:

1. Para cada tarea, identifique las tareas que le siguen inmediatamente o preceden inmediatamente.
2. Crear una lista A con las tareas no asignadas, sus predecesoras inmediatas (no asignadas) y el número total de tareas que la preceden (no asignadas).
3. De la lista A cree una lista B conformada por las tareas que tienen cero (0) predecesores. Si no hay tarea sin ser asignadas a estaciones, entonces parar.
4. De la lista B, crear una lista C compuesta de las tareas que tienen tiempo de proceso que no supera el tiempo disponible de la estación. Si la lista C está vacía, abra una nueva estación y repita el paso 2.
5. Aleatoriamente seleccione de la lista C una tarea para asignarla a la estación.
6. Actualice el tiempo disponible en la estación y la lista A. retorne al paso 3. (Restrepo, Medina V, & Cruz T, 2008)

El autor concluye también que la aplicación de este algoritmo es fácil de implementar y permite encontrar varias soluciones (Restrepo, Medina V, & Cruz T, 2008).

12 Descripción Logística en Superpolo SAS

A través de los factores de Material, Maquinaria, Trabajador y Movimiento se muestra la descripción de los elementos presentes dentro de la fábrica.

12.1 Material

Las carrocerías están diseñadas para atender los segmentos del mercado de transporte de pasajeros descritas en la NTC 5206. Esta norma establece la clasificación por clases.

CLASE	DESCRIPCIÓN	RADIO DE ACCIÓN
I	Servicio público colectivo	Municipal, Distrital y Metropolitano
II	Servicio público colectivo	Nacional
III	Servicio público especial	Municipal, Distrital, Metropolitano o Nacional.

En la empresa se determinaron los siguientes grupos y familias para clasificar las carrocerías.

GRUPOS FAMILIAS	Micro Bus	Mini Buseta	Buseta	Buseton	Autobús	Articulado
	Audace	BRT	Gran Viale	Ideale	Paradiso	Senior

En total existen 18 varianciones que corresponden con los segmentos de mercado.

Tabla 16. Clasificación de carrocerías

LÍNEA FABRICACIÓN	LÍNEA-FAMILIA	CLASIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN NTC 5206	RADIO DE OPERACIÓN	
C. PEQUEÑO	SENIOR	BUSETON	CLASE I	URBANO	
			CLASE II	INTERMUNICIPAL	
			CLASE III	ESCOLAR	
		MINI BUSETA	CLASE I	URBANO	
			CLASE II	INTERMUNICIPAL	
			CLASE I	URBANO	
	IDEALE	BUSETA	CLASE II	INTERMUNICIPAL	
			CLASE I	URBANO	
			CLASE II	INTERMUNICIPAL	
		BUSETON	CLASE I	URBANO	
			CLASE II	INTERMUNICIPAL	
			CLASE III	ESCOLAR	
C. GRANDE	GRAN VIALE	BUSETON	CLASE I	MASIVO	
		ARTICULADO	CLASE I	MASIVO	
	PARADISO	AUTOBUS	CLASE II	INTERMUNICIPAL	
		AUDACE	AUTOBUS	CLASE II	INTERMUNICIPAL
		BRT	ARTICULADO	CLASE I	MASIVO

Fuente: Elaboración propia.

Con base en las dimensiones, las carrocerías se ensamblan en 2 líneas de montaje

- Línea de carrocerías grandes: se ensamblan las carrocerías de sección transversal grande como Autobús, Buseton y Articulado.

- Línea de carrocerías pequeñas: se ensamblan las carrocerías de sección transversal pequeña como Micro Bus, Mini Buseta, Buseta y Buseton.

El **volumen de producción** de carrocerías según los datos de la empresa, representa el 42 % del mercado total. Sin embargo, el 80% de la fabricación total para la empresa esta representada en 3 familias y 3 tipos de carrocerías de acuerdo a la clasificación anterior.

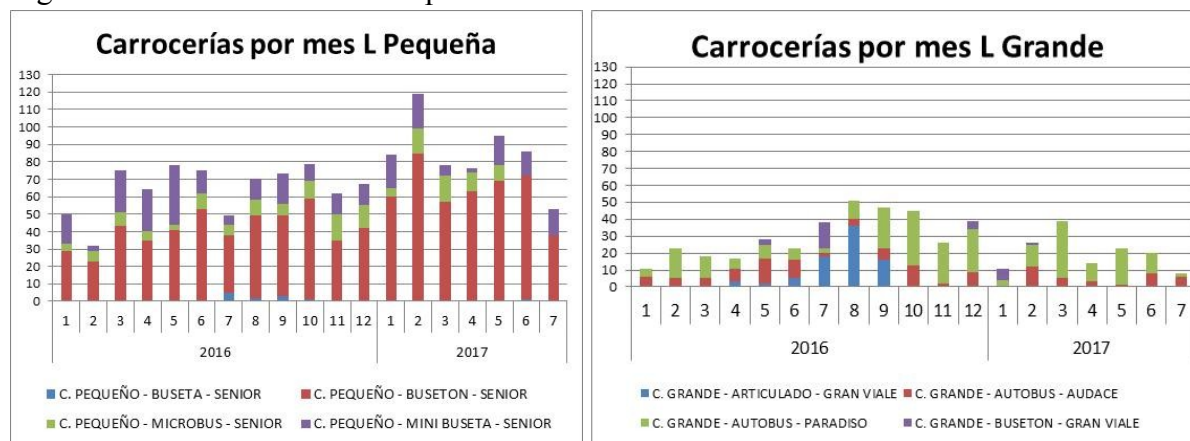
Tabla 17. Carrocerías principales

LÍNEA FABRICACIÓN	CLASIFICACIÓN	CLASIFICACIÓN NTC 5206	RADIO DE OPERACIÓN	LINEA-FAMILIA
C. PEQUEÑO	BUSETON	CLASE I	URBANO	SENIOR
		CLASE II	INTERMUNICIPAL	SENIOR
	MINI BUSETA	CLASE I	URBANO	SENIOR
		CLASE II	INTERMUNICIPAL	SENIOR
C. GRANDE	AUTOBUS	CLASE II	INTERMUNICIPAL	PARADISO
	BUSETON	CLASE I	MASIVO	GRAN VIALE

Fuente: Elaboración propia

Con los datos provenientes de Superpolo, también se identifica que esta variedad de carrocerías tiene demanda mensual y en conjunto el promedio esta alrededor de 60 unidades para las ensambladas en la línea de carros pequeños y de 20 para la línea de carros grandes. Aunque la demanda no es uniforme durante todos los meses presentándose picos en los meses Marzo, Mayo, Octubre y Noviembre. Alcanzando máximos de 80 hasta 120 unidades para carros pequeños, y de 30 hasta 50 para carros grandes

Figura 13. Volumen carrocerías por línea



Fuente: Elaboración propia

Para la construcción de las carrocerías, para cada una de las etapas de fabricación, se utiliza el material que se describe a continuación:

Como Materia prima por cada sector se tiene:

Tabla 18. Materia prima por sector

MATERIA PRIMA	SECTOR										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Madera								•			
Perfiles de aluminio								•			
Tubería de aluminio								•		•	
Tubería de acero										•	
Lamina de acero										•	
Lamina de aluminio										•	
Fibra de vidrio											•
Lamina ABS											•

Fuente. Elaboración propia.

Como Material entrante y accesorios por cada sector se tiene:

Tabla 19. Material entrante y accesorio

MATERIAL ENTRANTE	SECTOR ENTRANTE										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Componentes en acero	•	•	•	•							•
Componentes en aluminio				•				•			
Componentes en madera				•							
Componentes en lamina plástico ABS						•					
Componentes en fibra de vidrio				•							
Componentes para sistema eléctrico	•			•		•		•			
Sub ensambles en acero	•	•	•								•
Sub ensambles en aluminio				•		•					
Sub ensambles en fibra de vidrio				•							
Sub ensambles en acero, aluminio y madera						•					
Chasis	•										
Poliuretano				•				•			
Pintura anti corrosiva				•						•	
Componentes originales del chasis				•							
Pintura					•		•				•
Accesorios internos y externos					•						
Vidrios de ventanas								•			
ACCESORIOS											
Tornillos y tuercas	•			•		•		•		•	•
Electrodo en rollo de hilo	•	•	•					•		•	
Discos de pulir	•	•	•		•		•			•	•
Adhesivos de poliuretano				•		•		•	•		
Masa para terminación de superficies					•		•				•
Discos para corte				•		•					
Promotor de adherencia de pintura					•						

Fuente. Elaboración propia

Como Material en proceso y Terminado por cada sector se tiene:

Tabla 20. Material en proceso y terminado

MATERIAL EN PROCESO	SECTOR											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
CHASÍS PREPARADO PARA RECIBIR	•											
SUB ENSAMBLES DE ESTRUCTURA CARROCERÍA		•										
ESTRUCTURA CARROCERÍA ENSAMBLADA		•										
ESTRUCTURA CARROCERÍA ACOPLADA EN CHASÍS			•									
CARROCERÍA CON REVESTIMIENTOS EXTERIORES EN INTERIORES Y SISTEMA ELECTROMECHANICO				•								
CARROCERIA PINTADA					•							
CARROCERÍA CON TERMINACIONES EL LOS REVESTIMIENTOS Y SISTEMA ELECTRICO						•						
SUB ENSAMBLES DE REVESTIMIENTOS EXTERIORES								•				
SUB ENSAMBLES DE REVESTIMIENTOS INTERIORES								•				
SUB ENSAMBLES EN LAMINA										•		
SUB ENSAMBLES EN TUBERÍA										•		
COMPONENTES EN FIBRA DE VIDRIO												•
COMPONENTES EN PLASTICO ABS												•
MATERIAL TERMINADO												
CARROCERÍA TERMINADA							•					

Fuente. Elaboración propia

Las operaciones designadas están alineadas con la **Relación de precedencia**. De acuerdo al patrón de flujo, en cada estación y de manera progresiva se ensambla cada componente hasta obtener la carrocería terminada.

A través de esta secuencia y en el mismo orden de ejecución de las tareas, se ensamblan los diferentes tipos de carrocerías. Es decir, se requiere que las tareas del sector 1 y 3 de Estructuras hayan finalizado para continuar con las tareas de Revestimientos, y estas a su vez requieren estar finalizadas para continuar con las tareas de Terminaciones. Se puede ver plasmado a través de la representación gráfica que permite el **Diagrama de precedencia** y el Diagrama de proceso de operación. En la figura 13 está el ejemplo del diagrama de precedencia para el sector 4.

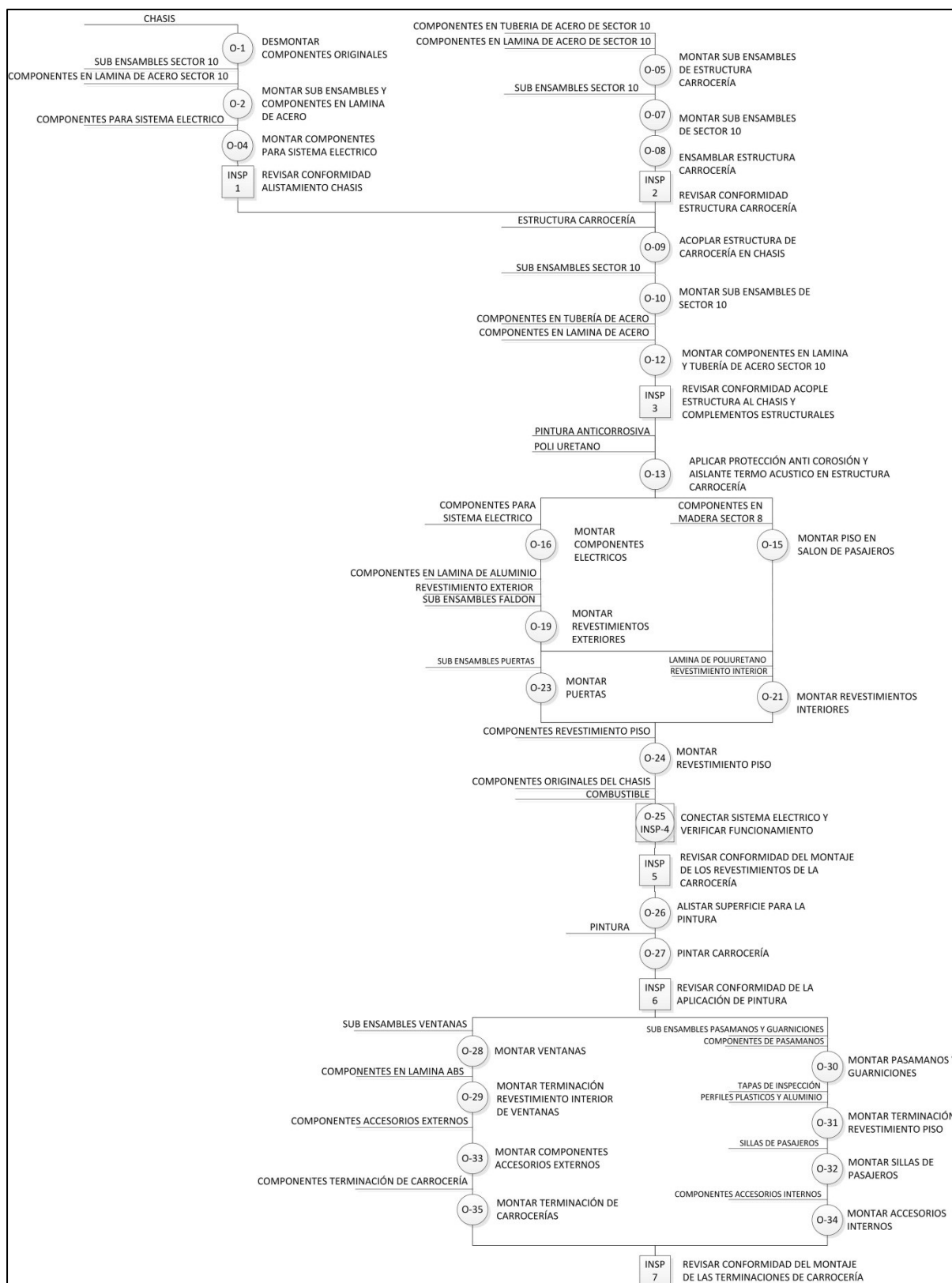


Figura 14. Diagrama de proceso de operación
Fuente: Elaboración propia

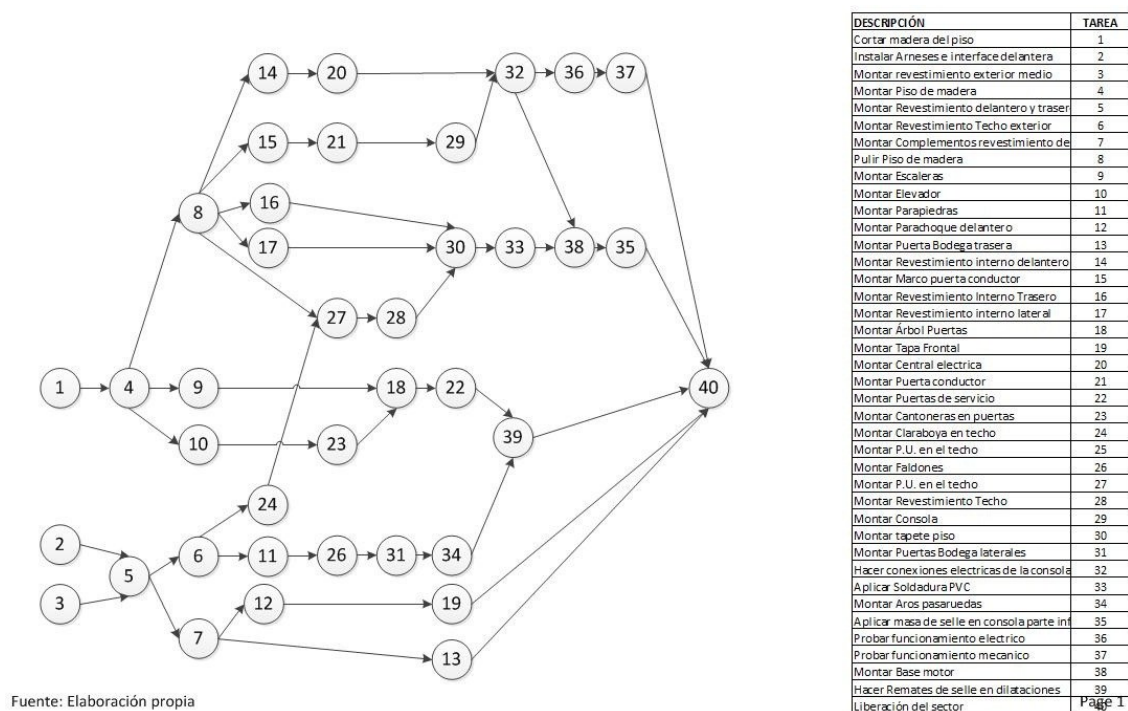


Figura 15. Diagrama de precedencia Sector 4

Componentes Modulares

Se utiliza este tipo para los componentes estructurales que varían por la longitud del chasis y son diseñados y fabricados por módulos. Los componentes en tubería de acero varían por módulos según la longitud, y los componentes que sirven de amarre a estos componentes para formar los Sub ensambles de tubería son comunes a todas las estructuras. En la familia Senior existen solo 2 combinaciones de revestimientos exteriores delanteros y traseros, uno para Urbano y otro para Intermunicipal.

De esta manera, existen partes comunes y también únicas de acuerdo a la especificación del pedido del cliente.

Política de inventarios

La producción de las carrocerías inicia con el pedido formal del cliente. Para atender la demanda de consumo se identificaron las siguientes políticas:

Tabla 21. Política de inventario

POLÍTICA	PERIODO ENTREGA	FABRICAR		COMPRAR	
		INVENTARIO	POR PEDIDO	INVENTARIO	POR PEDIDO
TIPO DE MATERIAL					
Materia Prima	3 Meses			■	
Material Entrante: Proveedor	Kanban			■	
Material Entrante: Componentes Sub contratados	1 semana				■
Material Entrante: Componentes	1 semana	■			
Material Entrante: Componentes Fibra de vidrio	Tasa de producción		■		
Material Entrante: Sub ensambles	Tasa de producción		■		
Material en proceso	Tasa de producción		■		
Material Terminado	45 días		■		

Fuente: elaboración propia.

En cuanto al inventario de material en proceso, dentro de la línea de montaje, no es posible mantener inventario por que las carrocerías tienen componentes personalizados, no hay certeza sobre las especificaciones de los clientes.

Las unidades de cada pedido son acumuladas hasta completarlo, en este momento se hacen entrega al cliente.

12.2 Máquinas

Para elaborar los componentes y montar las carrocerías, se emplean las siguientes máquinas:

Tabla 22. Maquinaria por sector

ETAPA	PROCESO	TIPO MÁQUINA	CANTIDAD
SECTOR 1 - 7	NA	NINGUNA	0
SECTOR 8	CURVADO BAJO TENSIÓN	CURVADORA DE PERFILES	1
	CORTE DE METAL. ASERRADO	SIERRA CIRCULAR SEMI AUTOMATICA	1
		SIERRA CIRCULAR	1
	FRESADO	FRESADORA HORIZONTAL	1
SECTOR 9	NA	NINGUNA	0
SECTOR 10	CORTE DE METAL. ASERRADO	SIERRA CIRCULAR AUTOMATICA	1
		SIERRA CIRCULAR SEMI AUTOMATICA	3
		SIERRA DE CINTA SEMI AUTOMATICA	2
		SIERRA DE CINTA VERTICAL	1
	CURVADO BAJO TENSIÓN	CURVADORA DE TUBO	3
		PRENSA MECANICA	1
	CIZALLADO	TROQUELADORA	1
		CENTRO DE CORTE - ROBOT CORTE PLASMA	1
		CENTRO DE CORTE - LASER LAMINA	1
		CIZALLA	1
		PUNZONADORA HIDRAULICA	1
		DOBALDO	PRENSA DE CORTINA	3
	TALADRADO	TALADRO DE COLUMNA	2
FRESADO	FRESADORA VERTICAL	1	
SECTOR 11	TERMOFORMADO	TERMOFORMADORA	2
	CORTE DE METAL	SIERRA DE CINTA VERTICAL	1

Fuente. Elaboración propia

También, se utilizan los siguientes equipos e instrumentos de producción para cada sector:

Tabla 23. Equipo e instrumentos de producción por sector

ETAPA	EQUIPO	CANT	DISPOSITIVO DE MONTAJE	CANT
SECTOR 1	PUENTE GRUA	1		
	EQUIPO PORTATIL PARA SOLDAR	6		
SECTOR 2	PUENTE GRUA	1	PLANTILLA PARA MONTAJE	+ 10
	GABARITO SUB ENSAMBLE	+ 25		
	EQUIPO PORTATIL PARA SOLDAR	50		
SECTOR 3	EQUIPO PORTATIL PARA SOLDAR	9	ALINEACIÓN CONSOLA	15
SECTOR 4	EQUIPO APLICACIÓN POLIURETANO	3	REVESTIMIENTO FRONT Y POSTERIOR	18
	MONTACARGA	1	CORTE REVESTIMIENTO LATERAL	12
	ELEVADORES MECANICOS	4	PUERTAS	2
SECTOR 5	CABINA DE PINTURA	2	LAMPARA DE SECADO INFRAROJO	8
	ELEVADORES MECANICOS	4		
	CABINA HORNO	1	ESCALERAS	6
SECTOR 6	ELEVADORES MECANICOS	4	VENTOSAS PARA VENTANAS	12
			SILLAS	4
SECTOR 7			LAMPARA SECADO INFRAROJO	4
SECTOR 8	PUESTOS PARA SUB ENSAMBLE	34	PLANTILLAS SUB ENSAMBLE	+20
SECTOR 9	CABINA PRUEBA DE FILTRACIONES	1		
SECTOR 10	PUENTE GRUA	1	PLANTILLAS SUB ENSAMBLE	+50
	EQUIPO PORTATIL PARA SOLDAR	11		
	PUESTOS PARA SUB ENSAMBLE	11		
	CABINA DE PINTURA	1		
SECTOR 11	CABINA DE LAMINACIÓN	1	RODILLO LAMINACIÓN	+10
	CABINA HORNO	1		
	ASERSOR FIBRA DE VIDRIO Y RESINA	3		
	EQUIPO APLICACIÓN GEL COAT	1		

Fuente. Elaboración propia

12.3 Trabajador

Tiene diferentes funciones, agrupadas en varios tipos de mano de obra directa: montadores de ensamble y eléctricos, soldadores y pintores. Las habilidades requeridas tienen como fundamento la experiencia laboral y la capacitación dada dentro de la empresa.

Las necesidades de mano de obra se muestran en la siguiente tabla, especificando los tipos, distribución y posición del trabajador que emplea la empresa:

12.3.1 Tipos de trabajador

Tabla 24. Trabajadores por sector

ETAPA	TIPO DE DISTRIBUCIÓN	POSICIÓN	TIPO MANO DE OBRA
SECTOR 1	Producción en cadena – Posición fija	Fija - Dinámica	Montador Soldador
SECTOR 2	Por proceso	Fija	Montador electro-mecánico
SECTOR 3	Producción en cadena – Posición fija	Fija - Dinámica	Montador Soldador
SECTOR 4	Producción en cadena – Posición fija	Fija - Dinámica	Montador Soldador
SECTOR 5	Producción en cadena – Posición fija	Fija - Dinámica	Montador electro-mecánico
SECTOR 6	Producción en cadena – Posición fija	Fija - Dinámica	Montador general
SECTOR 7	Posición fija	Dinámica	Pintor
SECTOR 8	Por proceso	Fija	Montador general
SECTOR 9	Posición fija	Dinámica	Operador de maquina
SECTOR 10	Por proceso	Fija	Montador general
SECTOR 11	Por proceso	Fija	Operador de maquina
			Montador Soldador
			Montador general

Fuente. Elaboración propia

12.3.2 Jornada y Turnos

Cada sección de la fábrica trabaja según la siguiente cantidad de turnos por día

Tabla 25. Jornada y turnos

ETAPA DE FABRICACIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CANTIDAD DE TURNOS POR DÍA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
MÁXIMA CANTIDAD POR DÍA	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
HORAS POR TURNO	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Fuente: elaboración propia

12.4 Movimiento

Dentro de la planta se utilizan los siguientes equipos para el manejo de materiales:

Tabla 26. Equipo para movimiento de material por sector

ETAPA	EQUIPO	CANT	DISPOSITIVO ALMACENAMIENTO	CANT
SECTOR 1	PUENTE GRUA	1	ESTANTERÍA. Componentes eléctricos	1
SECTOR 2	PUENTE GRUA	1		
SECTOR 3	TRACTOR	1	ESTANTERÍA. Componentes en acero	1
	APILADOR CON MOTOR ELECTRICO	1	ESTANTERÍA. Componentes eléctricos	1
	MONTACARGA	1	ESTANTERIA. Tornillería	
SECTOR 4	ELEVADORES MECANICOS	4	PLATAFORMA PARA REVESTIMIENTOS	1
	GRUA	1		
	CARROS MATERIAL COMPRADO	+20		
	CARRETILLA REVEST EXTERIOR	3		
SECTOR 5	ELEVADORES MECANICOS	4		
SECTOR 6	ELEVADORES MECANICOS	4	ESTANTERIA. Tornillería	
SECTOR 7	CARRO MANUAL DE CARGA		ESTANTERIA. Componentes en aluminio	2
			BASTIDORES. Sub ensambles en aluminio	6
SECTOR 8			ESTANTERÍA. Componentes en acero	2
			BASTIDORES. Sub ensambles en acero	3
			ESTANTERIA: Componentes sillas	1
SECTOR 9	PUENTE GRUA	1	BASTIDORES: Dispositivos de ensamble	1
	CARRO MANUAL DE CARGA		ESTANTERÍA: Láminas de acero	2
SECTOR 10	APILADOR DE HORQUILLA	1	CANTILEVER: Tubería de acero	9
	MONTACARGA	1	CANTILEVER: Tubería de aluminio	1
			BASTIDORES: Componentes en acero	3
SECTOR 11	CARRO MANUAL DE CARGA		BASTIDORES: Componentes en ABS.	4
	TRACTOR	1	BASTIDORES: Moldes piezas	4
	CARRETILLA PARA BIDON			

Fuente. Elaboración propia

12.4.1 Patrón de circulación

El patrón de circulación esta descrito por el área de entrada de material, de movimiento de materiales auxiliares, movimiento de trabajadores y salida de material.

Entrada de material: Los materiales ingresan a la planta por medio de camiones y tracto camiones. Se realiza la descarga en el muelle que es la entrada al almacén principal

Salida de material: El material principal que sale es la carrocería terminada montada sobre el chasis. Sale de la planta por su propio motor. La última etapa es el sector 9 de donde parte hacia el área de carrocerías terminadas o hacia el área de entrega al cliente.

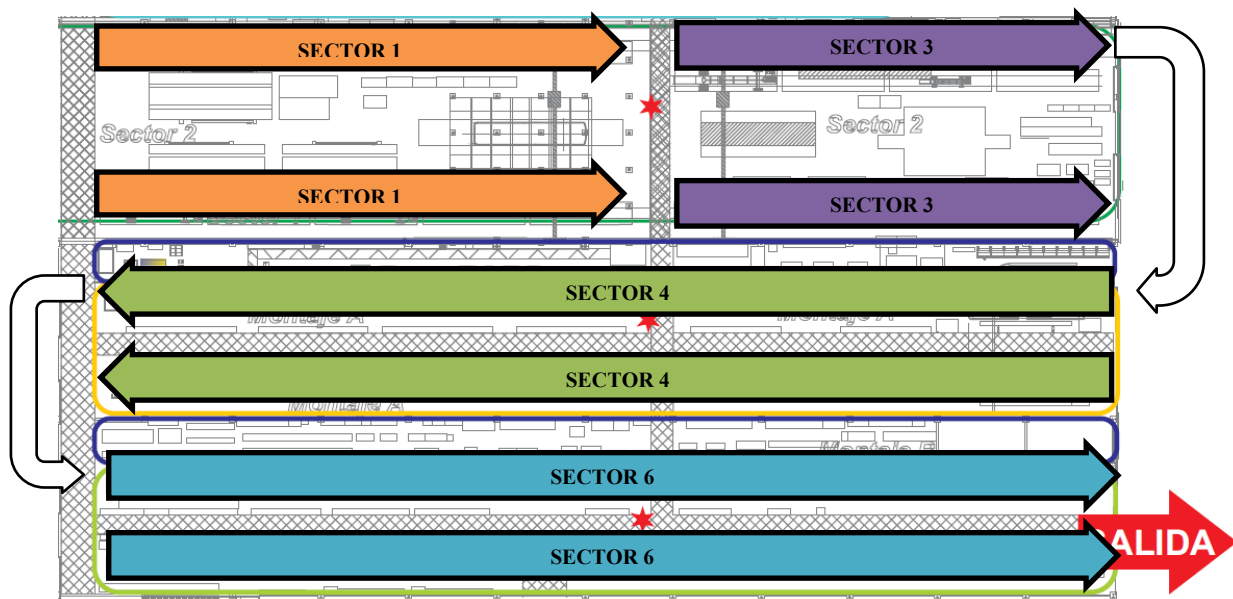
12.4.2 Movimiento de materiales

En la empresa se establece una distribución en planta y un flujo de materiales de acuerdo a la secuencia de las etapas de fabricación y montaje. Para las tareas de montaje de los componentes que forman la carrocería, se disponen las estaciones de trabajo en Serie, comenzando desde la Preparación del chasis, Armado de estructura, Montaje de revestimientos y finalizando con el Montaje de accesorios y la Inspección de funcionalidad de la carrocería; establecidas en 3 secciones principales:

- Montaje de Estructuras: Sector 1, 2 y 3
- Montaje de Revestimientos y Sistema eléctrico: Sector 4
- Montaje de Terminaciones y Accesorios: Sector 6

Reconociendo que la figura de esta serie de estaciones es en forma de S.

Figura 16. Flujo para el montaje de la carrocería.



Fuente: Distribución en planta Superpolo SAS

Para representar todos los movimientos de material por las etapas de fabricación y montaje se utiliza el siguiente diagrama de Relación de actividades:

Tabla 27. Relación de actividades – movimiento de materiales.

RELACIÓN ENTRE ACTIVIDADES	SECTORES DE ACTIVIDADES																	EQUIPO DE MANIPULACIÓN							
	ALMACÉN DE MATERIALES	ALMACÉN DE CHASIS	ALMACÉN DE TUBERÍA	ALMACÉN DE LAMINA	SECTOR 10 - FABRICACIÓN DE COMPONENTES	SECTOR 11 - ALMACÉN LAMINA ABS	SECTOR 11 - FABRICACIÓN DE REVESTIMIENTOS PLÁSTICOS	SECTOR 8 - FABRICACIÓN DE SUB ENSAMBLES	SECTOR 1 - AJUSTAMIENTO DE CHASIS	SECTOR 2 ARMADO DE SUB ENSAMBLES	SECTOR 2 UNION ESTRUCTURA	SECTOR 3 - ACOPLA DE CHASIS Y ESTRUCTURA	SECTOR 4- MONTAJE DE REVESTIMIENTOS EXTERIORES	ALMACÉN DE PINTURA	SECTOR 5 - PINTURA EXTERIOR DE CARROCERÍA	SECTOR 6 - MONTAJE DE TERMINACIONES	SECTOR 7 - TERMINACIÓN PINTURA EXTERIOR E INTERIOR		SECTOR 9 - PRUEBA DE FILTRACIÓN DE AGUA	CENTRO DE ACOPIO DE RESIDUOS	ÁREA PRODUCTO TERMINADO	ÁREA ENTREGA A CLIENTES			
TUBERÍA DE ACERO			●																					PUENTA GRÚA	
LAMINA DE ACERO				●																					MONTA CARGA
RESIDUOS DE ACERO					●				●	●		●													CARRO MANUAL DE CARGA
TUBERÍA DE ALUMINIO			●																						PUENTA GRÚA
LAMINA DE ALUMINIO				●																					MONTA CARGA
RESIDUOS DE ALUMINIO					●				●					●			●								CARRO MANUAL DE CARGA
MATERIALES ACCESORIOS	●																								CARRO MANUAL DE CARGA
COMPONENTES EN ACERO					●																				CARRO MANUAL DE CARGA
CHASIS			●																						TRACTOR
COMPONENTES ORIGINALES DEL CHASIS	←								●																CARRO MANUAL DE CARGA
SUB ENSAMBLES EN ACERO					●																				CARRO MANUAL DE CARGA
SUB ENSAMBLES DE ESTRUCTURA CARROCERÍA												●													PUENTA GRÚA
ESTRUCTURA CARROCERÍA ENSAMBLADA												●													PUENTA GRÚA
CHASÍS PREPARADO PARA RECIBIR									●																MANUAL
ESTRUCTURA CARROCERÍA ACOPLADA EN CHASÍS												●													TRACTOR
POLIURETANO	●																								MONTA CARGA
PINTURA ANTI CORROSIVA	●																								CARRO MANUAL DE CARGA
COMPONENTES EN ALUMINIO EXTERIOR					●																				CARRO MANUAL DE CARGA
PERFILES DE ALUMINIO			●																						CARRO MANUAL DE CARGA
COMPONENTES EN ALUMINIO INTERIOR									●																CARRO MANUAL DE CARGA
LAMINA DE MADERA	●																								MONTA CARGA
COMPONENTES EN MADERA									●																CARRO MANUAL DE CARGA
FIBRA DE VIDRIO	●																								MONTA CARGA
RESIDUOS DE FIBRA DE VIDRIO									●																CARRO MANUAL DE CARGA
COMPONENTES EN FIBRA DE VIDRIO									●																TRACTOR
COMPONENTES PARA SISTEMA ELÉCTRICO	●																								CARRO MANUAL DE CARGA
SUB ENSAMBLES EN ALUMINIO					●																				CARRO MANUAL DE CARGA
SUB ENSAMBLES EN FIBRA DE VIDRIO									●																CARRO MANUAL DE CARGA
SUB ENSAMBLES DE REVESTIMIENTOS EXTERIORES									●																CARRO MANUAL DE CARGA
COMPONENTES ORIGINALES DEL CHASIS	●																								CARRO MANUAL DE CARGA
CARROCERÍA CON REVESTIMIENTOS Y SISTEMA ELECTROMECHANICO														●											MANUAL
PINTURA														●											CARRO MANUAL DE CARGA
CARROCERIA PINTADA															●										MANUAL
SUB ENSAMBLES DE REVESTIMIENTOS INTERIORES									●																CARRO MANUAL DE CARGA
LAMINA ABS									●																MANUAL
COMPONENTES EN LAMINA ABS									●																CARRO MANUAL DE CARGA
SUB ENSAMBLES EN ACERO, ALUMINIO Y MADERA									●																CARRO MANUAL DE CARGA
ACCESORIOS INTERNOS Y EXTERNOS	●																								CARRO MANUAL DE CARGA
VIDRIOS DE VENTANAS	●																								CARRO MANUAL DE CARGA
CARROCERÍA CON TERMINACIONES Y SISTEMA ELECTRICO																									MANUAL
CARROCERIA CON TERMINACIONES DE PINTURA																									MANUAL
CARROCERÍA TERMINADA																									MANUAL

Fuente: Elaboración propia basado en (Muther, Richard. 1970).

En la siguiente figura se representa la entrada y salida de materiales así como los espacios para la circulación de personas

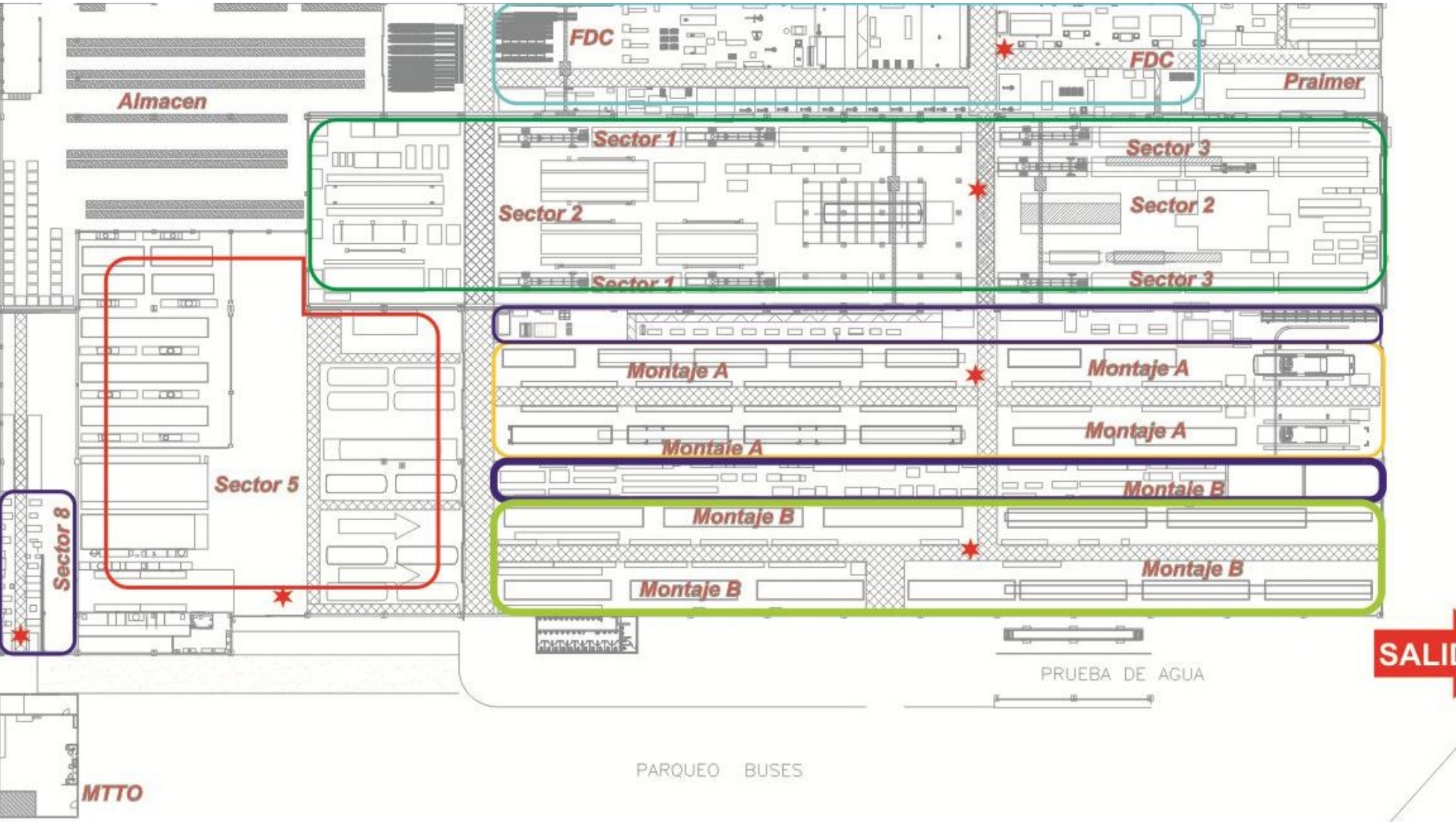


Figura 17. Distribución de planta – Montaje de carrocería

Para determinar las operaciones que se realizan en cada estación de trabajo se requiere hacer un **Balance de línea**. La agrupación de operarios dentro de una misma estación y la presencia de operaciones con tiempo superior al de ciclo actual, describe una **distribución física** de línea de ensamble con estaciones en paralelo. Y se hace necesario incluir dentro del método de balance el siguiente cálculo:

$$N_p = \text{Entero mayor} \left\lceil \frac{DTI}{TC} \right\rceil$$

Dónde:

N_p : Número de estaciones en paralelo
 DTI: Duración de la tarea indivisible
 TC: tiempo de ciclo

También, se requiere determinar los siguientes elementos de la línea de ensamble como parámetros del método de balance: el amortiguador, movimiento de paso y el tiempo de ciclo. Este último es uno de los parámetros importantes para realizar el balance.

Amortiguadores: entre cada estación, dentro de cada uno de los Sectores descritos con anterioridad, no existe espacio que permita mantener inventario de carrocerías en proceso. Es decir que las carrocerías pasan de una estación directamente a la siguiente.

Movimiento de paso: el movimiento a la siguiente estación se realiza de forma manual no se cuenta con un equipo mecánico para el movimiento entre estaciones. Para el movimiento entre Sectores se cuenta con un vehículo a motor.

Tiempo de ciclo: el tiempo de ciclo definido hoy para la línea de montaje en Superpolo SAS se ha obtenido acudiendo al juicio y experiencia de los administradores de cada uno de los Sectores. Se desconoce algún procedimiento para encontrar el valor del tiempo de ciclo. Se

manejan dos valores de tiempo de ciclo: 2 horas para las carrocerías pequeñas y 3 horas para las carrocerías grandes. Para determinar el tiempo de ciclo se requiere el valor del tiempo disponible de producción por periodo de tiempo y la demanda del producto. También, se requiere realizar el cálculo por grupo de carrocerías, carrocerías grandes y pequeñas.

- **Tiempo disponible de producción por periodo de tiempo:**

$$T_{periodo} = \text{Dias Hábiles}_{periodo} \times \text{Turno}_{día} \times \text{Horas}_{turno}$$

- **Tiempo de ciclo por periodo**

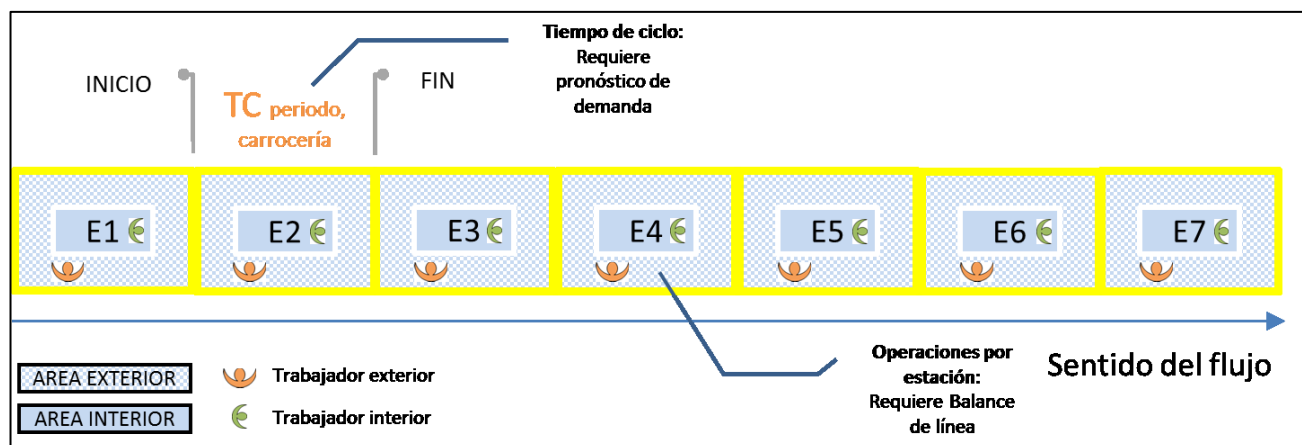
- General: un tiempo de ciclo

$$TC_{periodo} = \frac{DH_{periodo} \times T_{día} \times H_{turno}}{Unidades_{periodo}}$$

- **Tiempo de ciclo por periodo en carrocerías grandes:** se requiere tener la estimación de unidades a producir por periodo para carrocerías grandes y pequeñas.

$$TC_{periodo, carrocería} = \frac{DH_{periodo} \times T_{día} \times H_{turno}}{Unidades_{periodo, carrocería}}$$

Cada Estación de trabajo está formada por un grupo de operarios, un área de trabajo y las



operaciones designadas, es así para cada estación de cada Sector de montaje.

Figura 18. Representación línea de ensamble en Superpolo

Fuente: Elaboración propia

13 Definición metodología para estimar necesidades de mano de obra en la línea de montaje

Reconocer los elementos del sistema productivo en la línea de montaje seleccionada en la empresa Superpolo SAS

Los componentes requeridos dentro de la metodología son:

- Describir sistemas de producción dentro de la empresa (sección, área o toda la empresa).
(capitulo 12)
- Describir productos de la empresa y obtener familias de productos (capitulo 12)
- Encontrar método de Pronóstico por familia de carrocería (capitulo 11.1)
- Establecer la mezcla de carrocerías por línea y cantidad de unidades diarias de la mezcla por cada mes.
- Tiempo de ciclo por día (Avance de línea por día)
- Realizar balance de línea por mes con estaciones en paralelo.
 - o Tiempo de ciclo máximo de todas las carrocerías
- Definir la cantidad de MOD a despedir, contratar o mantener evaluando el costo

13.1 Método de pronóstico adecuado a la demanda de carrocerías en Superpolo S.A.S.

Los datos obtenidos provienen de registros de fuente primaria dados por la empresa. Se clasifican como Serie de tiempo dado que son datos consecutivos de 5 años, presentados en meses.

Para encontrar el método de pronóstico que se ajusta a la demanda de carrocerías para el transporte de pasajeros se llevaran a cabo los siguientes pasos:

13.1.1 Selección de las series de tiempo de las carrocerías.

Es necesario seleccionar las familias de carrocerías más representativas para la organización.

Cada familia responde a la necesidad de una parte del mercado.

13.1.2 Encontrar el patrón de comportamiento de las series

Luego, para cada una de estas familias se requiere determinar el comportamiento de la serie de tiempo, para esto se utiliza el coeficiente de autocorrelación. Con estos coeficientes se construye los correlogramas para tener una guía visual del comportamiento y determinar la presencia de tendencia en las series.

Después, se aplica el método de las primeras diferencias sobre los coeficientes de autocorrelación con el propósito de identificar estacionalidad

13.1.3 Identificar métodos de pronóstico aplicables al patrón de comportamiento

Con los patrones detectados se buscan los métodos de pronóstico que tengan aplicación sobre los comportamientos de los datos encontrados de las series de tiempo de cada familia de carrocería.

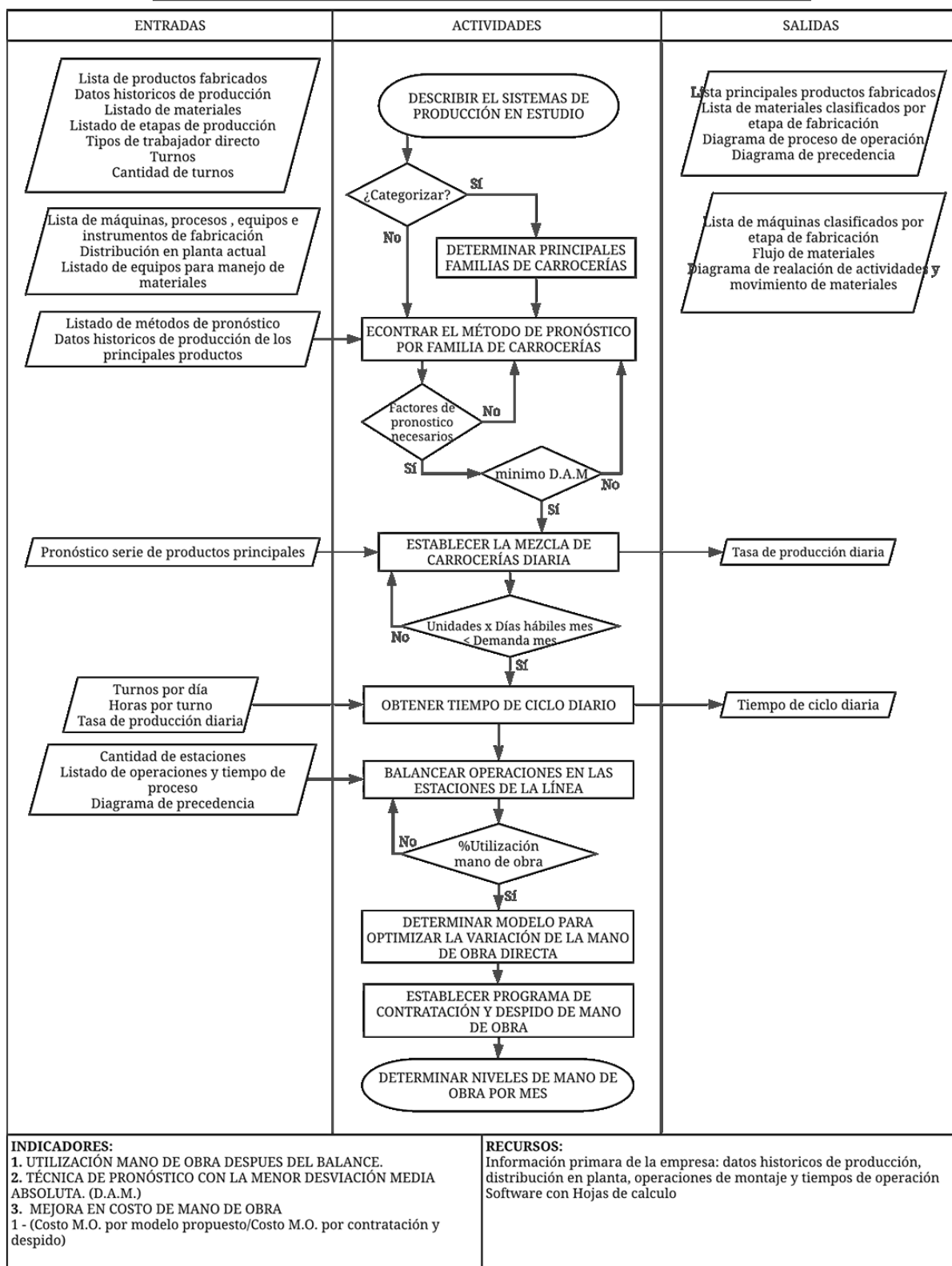
13.1.4 Obtención y Evaluación del pronóstico

Aplicar los métodos de pronóstico que se utilizan para estimar el comportamiento encontrado en las series de tiempo seleccionadas. Para evaluar el pronóstico se emplea la medida de desempeño Desviación absoluta media (MAD) para medir el error en las mismas unidades que las series de carrocerías.

13.3 Representación gráfica del metodología

Figura 19. Metodología para el cálculo de MOD

METODOLOGÍA DE CALCULO PARA ESTIMACIÓN MANO DE OBRA PARA LA LÍNEA DE MONTAJE DE SUPERPOLO SAS



Fuente: elaboración propia

14 Aplicación de metodología a Superpolo SAS

14.1 Familias de carrocerías

De acuerdo con los datos y la descripción logística de Superpolo S.A.S. la demanda de carrocerías en la empresa está representada en un 80% por las siguientes carrocerías.

- Buseton Urbano
- Buseton Intermunicipal
- Mini Buseta Urbano
- Mini Buseta Intermunicipal
- Paradiso
- Gran Viale

De los datos proporcionados por la empresa utilizaremos las series de estos productos para aplicar la identificación de método de pronóstico.

14.2 Pronóstico de carrocerías

Primero, se requiere identificar los patrones de comportamiento que presentan los datos que según (Hanke & Wichern, 2006) es de los aspectos más importantes.

14.2.1 Patrón de comportamiento de los datos.

Para esto se calcula el coeficiente de autocorrelación usado para identificar patrones de datos de series de tiempo. (Hanke & Wichern, 2006) Con el paquete estadístico *IBM SPSS Statistics 20* se obtuvo los siguientes resultados del estadístico de Ljung – Box y los correlogramas para cada serie de tiempo de las principales carrocería fabricadas.

Tabla 28. Resultado estadístico Ljung - Box

SERIE	REZAGO	ESTADISTICO LB	VALOR LB CRITICO
Buseton urbano	77	278,02	Entre 100,42 y 112,32
Buseton intermunicipal	77	374,65	Entre 100,42 y 112,32
Mini buseta urbano	77	203,58	Entre 100,42 y 112,32
Mini buseta intermunicipal	77	99,58	Entre 100,42 y 112,32
Auto bus intermunicipal	77	106,01	Entre 100,42 y 112,32
Buseton masivo	77	563,65	Entre 100,42 y 112,32

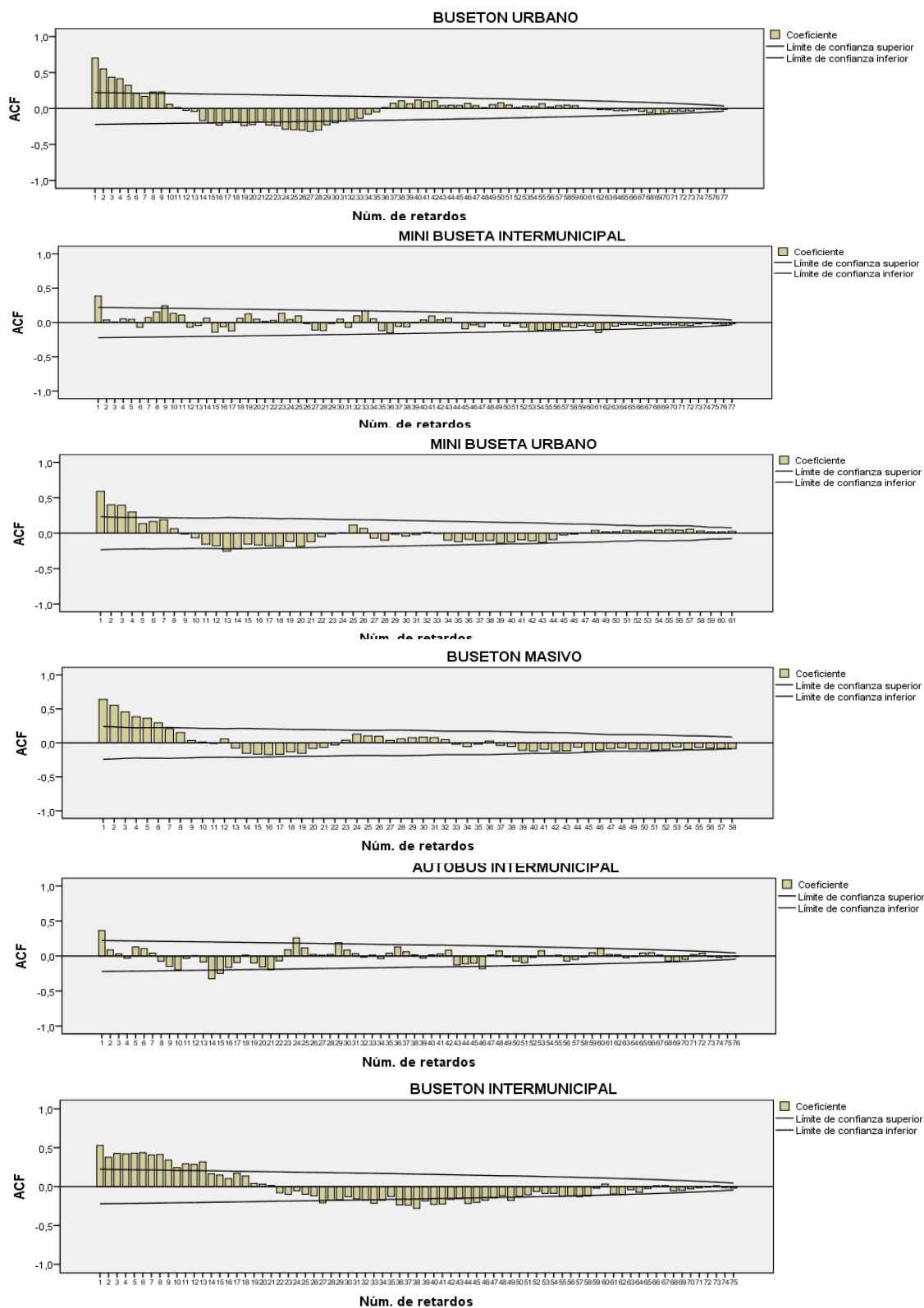
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los datos, se encuentra que los valores del estadístico calculado superan el valor crítico de la distribución ji cuadrada en el nivel de significancia 0,01 con 77 grados de libertad. Y por conclusión que existe auto correlación con las series rezagadas para cada una de las series de las carrocerías, es decir, existen patrones que describen el comportamiento en los datos. Para identificar los patrones utilizamos en primera medida los correlogramas.

De acuerdo con (Hanke & Wichern, 2006) el comportamiento de los correlogramas donde los coeficientes son grandes los primeros retrasos de tiempo después caen hacia cero, indica la presencia de tendencia en los datos de las series de las 6 tipos de carrocerías.

Con ayuda de los correlogramas es posible identificar patrones de comportamiento en las series, a continuación se muestran las gráficas para cada una de las 6 principales series de carrocería:

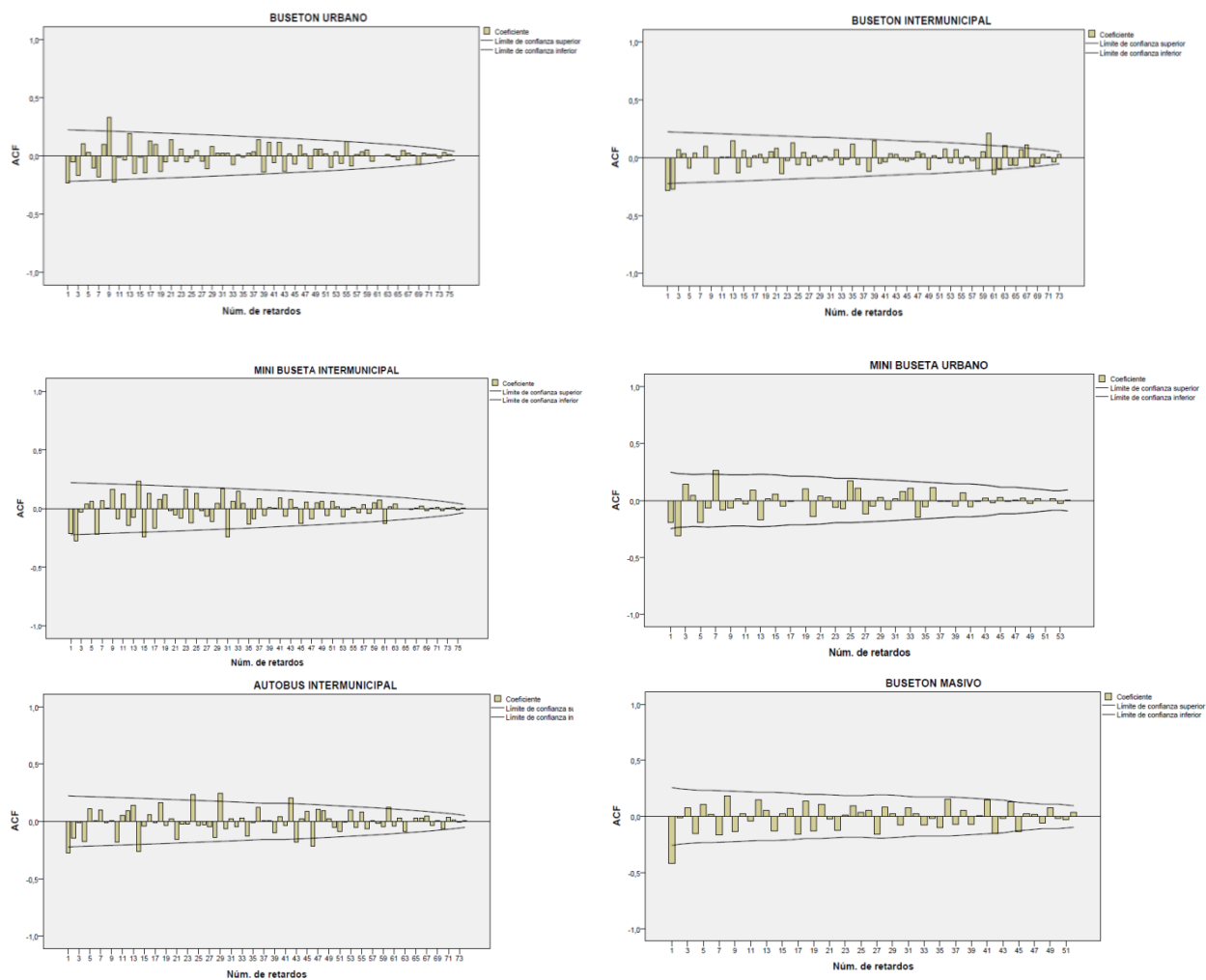
Figura 20. Correlogramas principales series de carrocerías



Fuente: SPSS

Con el método de las primeras diferencias identificamos si además de la tendencia existe estacionalidad en la serie de datos

Figura 21. Correlogramas primeras diferencias



Fuente: SPSS

El comportamiento de los coeficientes de auto correlación muestra que existen los siguientes patrones en las series:

Tabla 29. Patrones identificados en las series principales

PATRÓN	PATRÓN PRIMERA DIFERENCIA	SERIE
TENDENCIA	ESTACIONALIDAD	Buseton Urbano
		Buseton Intermunicipal
		Mini Buseteta Urbano
		Masivo Buseton
HORIZONTAL	ESTACIONALIDAD	Mini Buseteta Intermunicipal
		Autobús Intermunicipal

Fuente: Elaboración propia

14.2.2 Selección de método de pronóstico.

De acuerdo con los patrones detectados en las series y los métodos usados para pronosticar este tipo de patrón, se encuentra que los métodos más usados que se ajustan son:

- Método de Holt – Winters
- Método de Descomposición de las series de tiempo
- Método ARIMA (Box – Jenkins)

14.2.3 Obtención del pronóstico.

Aplicando los métodos de pronóstico por cada serie de tiempo para las carrocerías seleccionadas, se obtuvo las siguientes medidas de desempeño

Tabla 30. Comparación resultados pronostico

	URBANO Buseton			INTER Buseton			INTER MINI Buseteta		
	ECM	DMA	EPAM	ECM	DMA	EPAM	ECM	DMA	EPAM
H-W	1110,0	20,7	75,2	224,4	9,5	131,9	75,8	6,3	123,4
DES – AD	219,2	11,4	43,0	29,4	4,1	70,6	22,1	3,9	78,5
DES - MUL	227,8	11,2	41,1	37,6	4,3	66,0	22,0	4,0	80,1
ARIMA	386,3	17,1	29,6	39,9	5,1	103,5	34,0	5,1	123,5

Fuente: elaboración propia

Tabla 30. Continuación

	URBANO MINI BUSETA			INTER AUTOBUS			MASIVO BUSETON		
	ECM	DMA	EPAM	ECM	DMA	EPAM	ECM	DMA	EPAM
H-W	58,3	5,1	69,9	247,0	9,6	239,7	767,5	18,84	790,81
DES – AD	34,7	4,1	58,9	50,4	5,5	268,9	198,3	10,9	291,4
DES - MUL	41,4	4,3	55,7	51,5	5,6	252,6	191,7	9,9	593,2
ARIMA				120,6	9,5	182,9			

Fuente: elaboración propia

Aplicando los métodos de pronóstico, se identifica que el más ajustado según las medidas de desempeño para cada serie es:

Tabla 31. Coeficientes pronostico series

SERIE	METODO
URBANO BUSETON	Descomposición – Multiplicativo
INTERMUNICIPAL BUSETON	Descomposición – Aditivo
INTERMUNICIPAL MINI BUSETA	Descomposición – Aditivo
URBANO MINI BUSETA	Descomposición – Aditivo
INTERMUNICIPAL AUTOBUS	Descomposición – Aditivo
MASIVO BUSETON	Descomposición – Multiplicativo

Fuente: elaboración propia

Se obtuvo las siguientes estimaciones para los primeros 7 meses del año:

Tabla 32. Pronóstico series principales

CARROCERÍA MES	URBANO BUSETON	INTER BUSETON	INTER MINI BUSETA	URBANO MINI BUSETA	INTER AUTOBUS	MASIVO BUSETON	TOTAL
	ENERO	52	8	9	2	10	4	85
FEBRERO	47	9	8	3	14	2	83
MARZO	54	12	11	1	20	2	100
ABRIL	53	7	13	2	13	2	90
MAYO	46	6	12	3	17	2	86
JUNIO	43	15	9	2	23	1	93
JULIO	47	16	9	1	12	3	88
AGOSTO	43	9	12	1	15	1	81
SEPTIEMBRE	42	7	13	3	21	2	88
OCTUBRE	48	8	11	6	29	2	104
NOVIEMBRE	40	6	9	11	28	1	95
DICIEMBRE	40	11	9	2	18	3	83

Fuente: elaboración propia

13.3. Mezcla de demanda de carrocerías

Luego de describir el sistema de producción y encontrar el método de pronóstico se requiere definir la cantidad de unidades a fabricar por periodo. El interés es encontrar esta cantidad por cada día hábil.

Para determinar esta cantidad diaria distribuimos la cantidad mensual de forma equitativa y en unidades completas por cada día hábil del mes, si el cociente no es entero, el residuo se repartirá por unidades en cada uno de los días. Ahora, cuando este residuo sea mayor al 50% de los días hábiles, tomaremos las unidades diarias como el cociente más una unidad.

Antes de calcular, se tiene en cuenta que la demanda de carrocerías está compuesta por la demanda de carrocerías grandes y pequeñas. La demanda de carrocerías grandes está compuesta por la suma de la demanda de las familias de carrocerías clasificadas como carros grandes. La demanda de carrocerías pequeñas está compuesta por carrocerías pequeñas.

Por tanto,

Tabla 33. Cantidad de carrocerías por día

UNIDADES	URBANO BUSETON	INTERMUNICIPAL BUSETON	INTERMUNICIPAL MINI BUSETA	URBANO MINI BUSETA	INTERMUNICIPAL AUTOBUS	MASIVO BUSETON	DIAS DISPONIBLES	Carrocerías pequeñas	Carrocerías Grandes
ENERO	2,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	23	3	1
FEBRERO	2,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	20	2	2
MARZO	1,0	1,0	1,0	0,0	2,0	0,0	22	3	2
ABRIL	1,0	1,0	1,0	0,0	2,0	0,0	21	3	2
MAYO	2,0	1,0	0,0	0,0	2,0	0,0	23	3	2
JUNIO	2,0	1,0	1,0	0,0	2,0	0,0	21	4	2
JULIO	1,0	1,0	1,0	0,0	2,0	0,0	22	3	2

Fuente: elaboración propia

14.4 Obtención del tiempo de ciclo de la línea de fabricación

Con la cantidad de unidades diarias definidas, se calcula el tiempo de ciclo

$$TC_{\text{día, línea}} = \frac{DH_{\text{día}} \times T_{\text{día}} \times H_{\text{turno}}}{\text{Unidades}_{\text{día, línea}}}$$

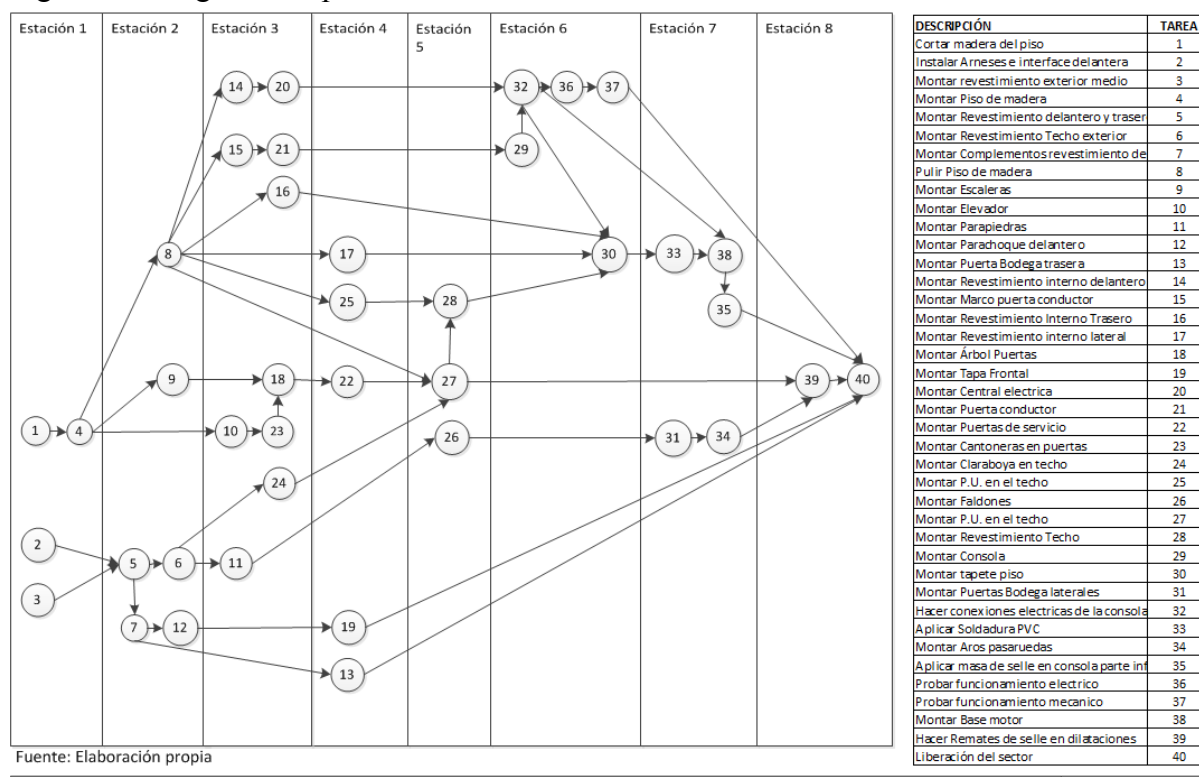
Definimos el tiempo de ciclo para cada periodo del horizonte

13.5. Balance de línea

Con la identificación de la necesidad de asignar las operaciones a las estaciones de trabajo antes de calcular la cantidad de mano de obra directa, se recurre al balance de línea para asegurar que el tiempo de ciclo o ritmo de la línea calculado sea el mismo en cada estación de trabajo.

Se recurre a un algoritmo heurístico llamado COMSOAL. Está planteado para estaciones de trabajo en serie. A este método se le adicionó la condición de la división de las operaciones con tiempo que supera el tiempo de ciclo.

Figura 22. Diagrama de precedencia Sector 4 - Balance LP - 4 carros diarios



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Diagrama de precedencia – Sector 4 - Balance LP - 3 carros

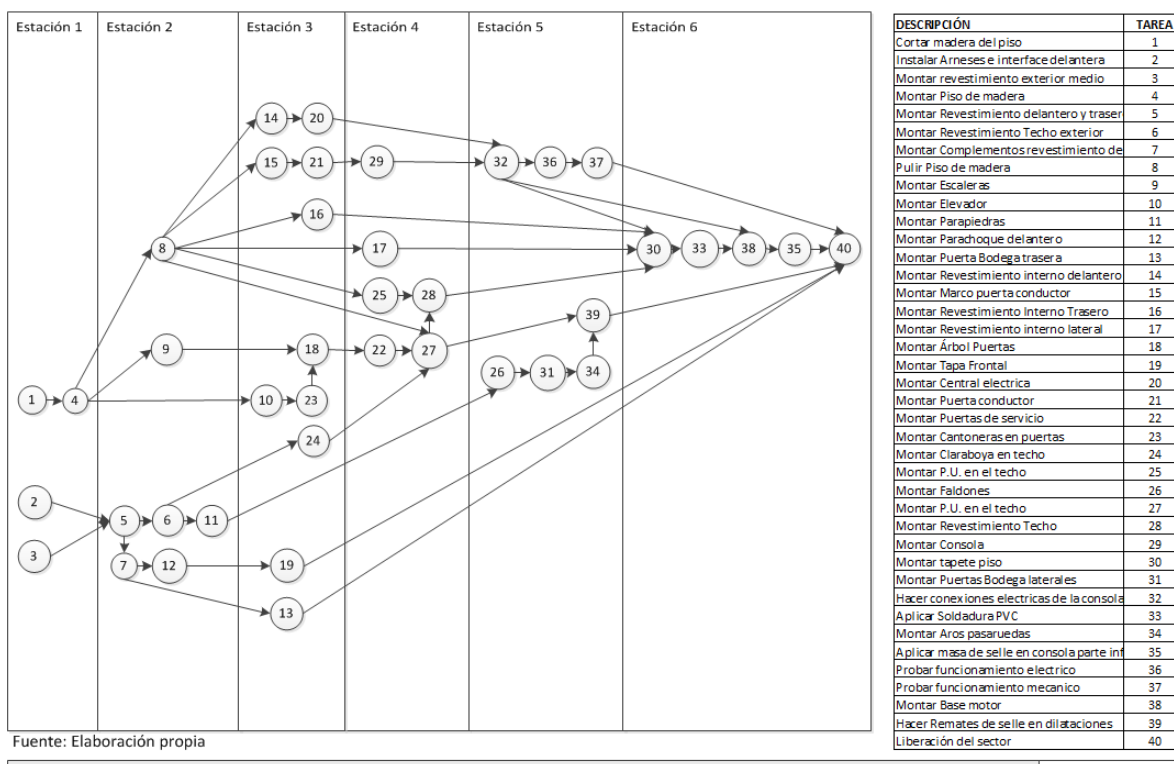
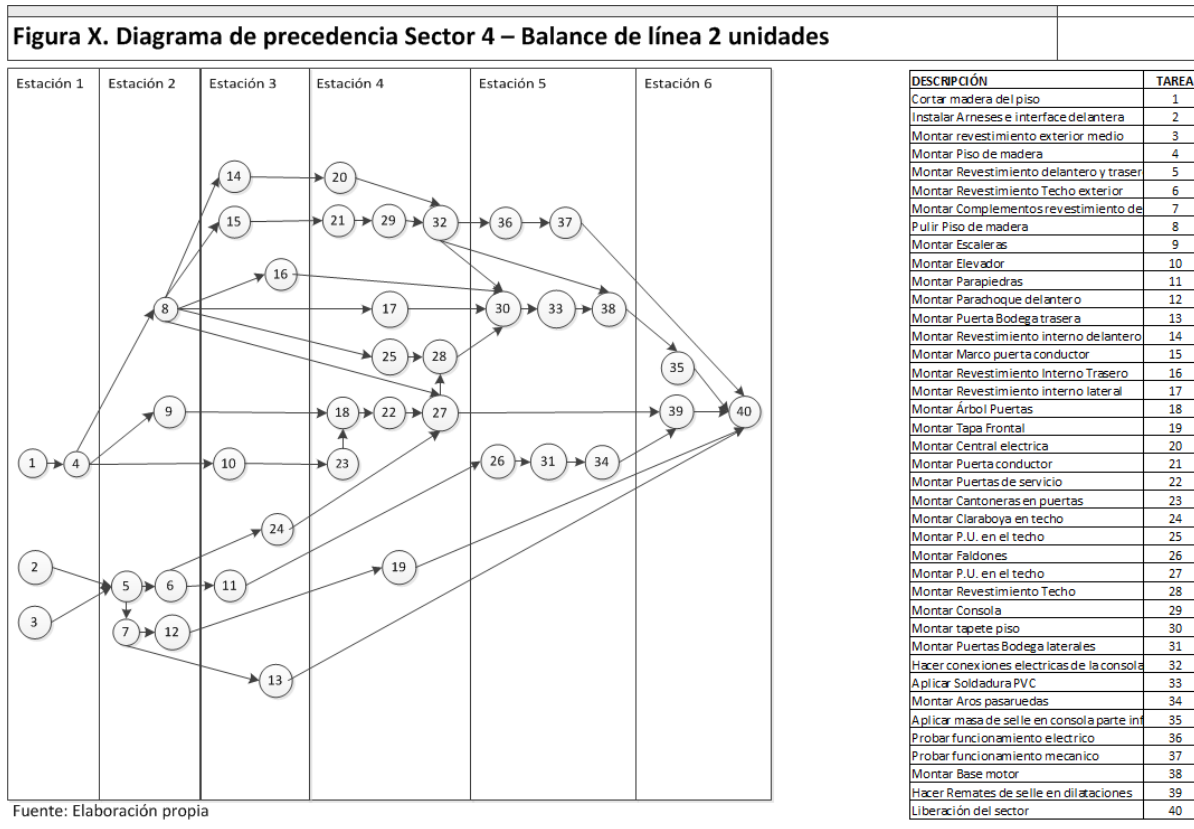


Figura 24. Diagrama de precedencia Sector 4 - Balance LP - 2 carros



Como resultado se encontró que la mano de obra directa para los meses del horizonte de tiempo es:

Tabla 34. MOD por línea Sector 4

LÍNEA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO
Carrocerías pequeñas	42	27	42	42	42	60	42
Tiempo de ciclo (Hr)	3	4.5	3	3	3	2.25	3

Fuente: elaboración propia

Con este cálculo de mano de obra podemos determinar el costo y el plan de contrataciones y despidos.

14.6 Determinar la variación en la mano de obra por periodo al menor costo

Se trata entonces de evaluar la opción más económica. Saber hasta qué punto puede soportar una organización la rotación de personal sin mayores daños es un problema que cada organización debe evaluar de acuerdo con sus propios cálculos y base de intereses. (CHIAVENATO, 2007)

Entonces, el objetivo del método es minimizar el impacto en la utilidad de la organización por la acción de la planeación de la fuerza de trabajo directa que opera en la línea de montaje. Es decir que el costo total de las decisiones de contratar o despedir y de utilización de la mano de obra sea el mínimo. Puntalmente el objetivo de método es minimizar el costo de gestión y operación de la fuerza de trabajo.

Este costo tiene los siguientes términos de acuerdo a los costos en la gestión de la mano de obra descritos con anterioridad:

Costo = Costo de contratación + Costo de despedir + Costo de M.O.D + Costo de tiempo extra + Costo de indemnización+ Costo de mantener por encima de lo requerido

Cada costo está determinado por:

$$COSTO_{contratar} = SALARIO_{Admin} + Costo\ Unitario_{Contratación} \times TRABAJADORES_{Contratados}$$

$$\begin{aligned} COSTO_{despedir} &= SALARIO_{Admin_Sep} + LIQUIDACIÓN_{Empl_Retir} \times T_{despedidos} COSTO_{contratar} \\ &= SALARIO_{Admin} + Costo\ Unitario_{Contratación} \times TRABAJADORES_{Contratados} \end{aligned}$$

$$COSTO_{capacitación} = SALARIO_{instructor}$$

13.6.1 Modelo lineal para optimizar variación de mano de obra al menor costo

Objetivo:

$$\begin{aligned} \min Z &= C_{Con} * \sum_{i=1}^n X_{1i} + C_{Desp} * \sum_{i=1}^n X_{2i} + S_{\bar{x}} * \sum_{i=1}^n X_{4i} + C_{TEEx} * \sum_{i=1}^n X_{3i} \\ &+ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n S_{\bar{x}} \times Mfalta_j \times X_{5ij} + \sum_{i=1}^n S_{\bar{x}} * (X_{4i} - B_i) \end{aligned}$$

Variables:

i: periodos del horizonte de planeación (en meses)

j: periodo en el que se contrató (en meses)

X1_i: Cantidad de empleados a contratar en el periodo i

X2_i: Cantidad de empleados a despedir en el periodo i

X3_i: Cantidad de horas extra utilizadas para el periodo i

X4_i: cantidad de trabajadores a tener en el periodo i

X5_{ij}: cantidad de personas a despedir en el periodo i y contratados en el periodo j

Parámetros:

C_{Con} : Costo de contratación

C_{Des} : Costo por despido

C_{TEEx} : Costo del tiempo extra

HT : horas por cada turno

S_{̄x} : Salario promedio de empleado mano de obra directa

Díaslab_i: Cantidad de días laborales por mes

D_i : demanda mensual agregada de carrocerías

O₀ : cantidad inicial de mano de obra.

T_{MAXi}: Tiempo máximo de las carrocerías del mix mensual

B_i : empleados calculados en el balance de línea

Cont-mes_j: mano de obra contratada meses anteriores

Mfalta_j: meses que faltan para terminar el contrato

Restricciones:

Demanda de carrocerías

$$X4_i = O_0 + X4_{(i-1)} + X1_i - X2_i$$

$$HT \times X4_i + X3_i \geq Tmax_i \times D_i$$

Balance de línea

$$X4_i \geq B_i$$

Horas extra

$$X3_i \leq 48X4_i$$

Tiempo para Indemnización

$$Mfalta_j \times X5_{ij} \geq 0,5 \times X5_{ij}$$

Límite de despedidos por periodo

$$\sum_{i=1}^n X5_{ij} \leq Cont_mes_j$$

Total a despedir

$$X2_i = \sum_{j=1}^n X5_{ij}$$

La solución del modelo se obtuvo por medio del software GAMS Versión de estudiante y de la plataforma web <https://neos-server.org/neos/> de la Universidad de Wisconsin.

Los resultados al aplicar este modelo son:

Tabla 35. Resultados aplicación modelo lineal

MES	MOD Balance	MOD Total	MOD Contratar	MOD Despedir	Horas extras
Enero	42	42	0	28	0
Febrero	27	42	0	0	0
Marzo	42	42	0	0	0
Abril	42	42	0	0	47.4
Mayo	42	42	0	0	0
Junio	60	60	18	0	0
Julio	42	60	0	0	0

Fuente: elaboración propia

Tabla 36. Programa de despidos

Año anterior	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Año actual													
Ene	10	10	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
Feb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Abr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
May	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jun	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	10	10	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28

Fuente: elaboración propia

El costo total para este plan de contrataciones, despidos y horas extras, en el horizonte planeado, es:

Costo total = \$ 857.168.800

Si se hace el cálculo de los despidos y contrataciones que se ajusten con el método de cálculo utilizado por Superpolo (ver anexo) y suponiendo que los trabajadores se despiden faltando 3 meses para finalizar el contrato, se obtiene un costo de \$ 956.000.000

Comparando los dos resultados se obtiene diferencia de 98.831.200

15. Conclusiones y recomendaciones

15.1. Conclusiones

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se han alcanzado los objetivos en cuanto a:

- Con el logro de los objetivos fue posible identificar y relacionar un conjunto de procedimientos para estimar la mano de obra directa en una línea de montaje de carrocerías para el transporte de pasajeros en Superpolo SAS al menor costo, utilizando la contratación y despido para ajustar la capacidad productiva a la demanda del mercado.
- Con la identificación de los elementos de la línea de montaje en la empresa, se encontró que para las líneas que ensamblan carrocerías es útil que la estación de trabajo se considere como un conjunto de trabajadores actuando en paralelo. Convencionalmente se considera que cada estación en un sistema en línea corresponde a un operario; para la empresa, cada estación corresponde a un conjunto de operarios.
- De acuerdo al comportamiento de la demanda para Superpolo SAS la técnica que se ajusto fue el método de Descomposición Multiplicativa y Aditiva; ya que, en las series de datos para cada familia de carrocería principal se identificaron comportamientos de tendencia y ciclo más uno estacionalidad, y este método los incorpora dentro de su fórmula de cálculo. La facilidad y rapidez de implementar la técnica a través de una hoja de cálculo de uso común en la mayoría de las organizaciones, también es una ventaja.
- Analizar cada familia de carrocería que compone la demanda total de Superpolo, permitió reconocer que está afectada por factores estacionales y de tendencia, afianzando la importancia de realizar de forma periódica la actualización de los datos dentro del cálculo

del pronóstico. Estos factores identificados explican también, las variaciones en la cantidad de mano de obra directa dentro de un mismo año, cada año.

- A través del modelo de optimización del costo se logró evidenciar el impacto que causa el reconocimiento de los costos dentro de la planeación de la mano de obra. El resultado final del costo utilizando el método de programación lineal fue aproximadamente 10% menor que utilizando la forma de cálculo actual de la empresa.
- Se construyó un modelo de optimización incluyendo restricciones basadas en los requisitos básicos legales para la contratación laboral en Colombia. Además, el desconocimiento de estos requisitos dentro de la planeación, causa que no se tenga control sobre los costos asociados.
- Con el balance de línea no se desconoce ninguno de los parámetros dados por los elementos que componen un sistema en línea como la precedencia de las operaciones, cantidad de estaciones de trabajo, tiempo de ciclo, entre otros. El balance de línea, también, se convierte en el método para calcular la mano de obra para un sistema productivo en línea y es importante porque permite cumplir la condición de mismo ritmo para cada estación de trabajo.

15.2. Recomendación

- Aplicando esta metodología se obtiene como resultado la cantidad de mano de obra requerida al menor costo. En algunos periodos planeados se obtiene mano de obra mayor a la necesaria, esto implica tener mano de obra con tiempo de ocio.

Para este tiempo de ocio se pueden plantear alternativas como la programación de vacaciones, de entrenamientos, mantenimientos locativos con apoyo de la mano de obra. Y

en esencia estas prácticas son respuestas a la pregunta ¿En qué utilizar el tiempo el tiempo de ocio en los periodos donde se presente?

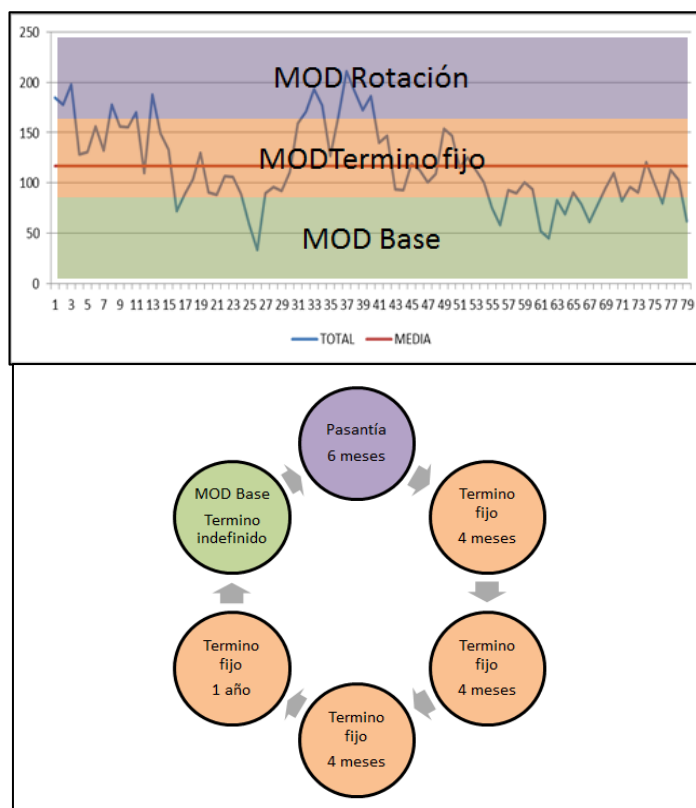
Como resultado de esta investigación se puede identificar también, que la condición por la que se presenta el costo de despedir a la mano de obra directa es por el tipo de contrato pactado. Es decir que si se explora la utilización de otro tipo de contrato diferente al Contrato a Término fijo el costo el costo de indemnizaciones puede ser de cero (\$0).

Es claro que existen operaciones que pueden soportar rotación de la mano de obra y otras que no, por la experticia y formación técnica y específica requerida, en ocasiones impartida está dentro de la empresa. Por tanto, se propondría buscar operaciones en las que se pueda rotar el personal.

Dentro de ese grupo de rotación puede aplicarse una secuencia de contratación aprovechando diferentes tipos de contratación y sus condiciones.

Por ejemplo, en operaciones básicas de montaje se puede utilizar estudiantes de programas técnicos en etapa productiva como los ofrecidos por el SENA. A los estudiantes con buen desempeño y aprovechando el conocimiento del comportamiento de la demanda en cada periodo del horizonte de planeación, se le contrata a Término Fijo por una cantidad de meses pueden ser 4 o 6. Este tipo de contrato permite renovar hasta tres veces cuando el periodo es menor a un (1) año.

Figura 25. Diferenciación Tipos de contrato por grupos MOD



Fuente: Elaboración propia

Esta secuencia de contratos implica ajustar el proceso tradicional de contratación, implica construirlo desde un enfoque de planeación.

Se requiere también, revisar los programas de capacitación de las instituciones de educación técnica para compararlo contra los requerimientos de las operaciones que pueden rotar trabajadores. Puntualmente se requiere mantener actualizado un listado de programas compatibles con el SENA.

Con este enfoque la empresa será responsable de jalar el mercado laboral y establecer una relación de mutuo beneficio con los estudiantes al permitir aplicar sus conocimientos en un entorno productivo y evitar los costos por indemnizaciones al tener que despedirlos por las bajas de la producción.

- Definir el tiempo de entrenamiento que se requiere para cada operación con el fin de determinar el costo de dicho entrenamiento cuando se despide un trabajador.

REFERENCIAS

- ACOSTA R, M. F., DÍAZ P, R. A., & ANAYA S, Á. P. (JULIO-DICIEMBRE de 2009). *REVISIÓN DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE DECISIÓN MULTICRITERIO (MULTIPLE CRITERIA DECISION ANALYSIS-MCDA) COMO SOPORTE A PROBLEMAS COMPLEJOS: PRONSTICOS DE DEMANDA* (Vol. VOL. 7). CALI: UNIVERSIDAD DE SAN BUENAVENTURA.
- BANREP. (2012). *El mercado del trabajo en Colombia: hechos, tendencias e instituciones* (Primera edición ed.). Bogotá D.C.: Luis Eduardo Arango y Franz Hammann Editores.
- Carlberg, C. (2003). *Análisis de los negocios con Excel XP*. México: Prentice Hall.
- COELHO DA SILVA JÚNIOR, O., MIRANDA JÚNIOR, G., & CONCEIÇÃO, S. V. (Enero a Abril de 2010). RECONFIGURAÇÃO DINÂMICA DE LINHAS DE MONTAGEM. *Pesquisa Operacional*, 30(1), 237 - 258.
- COLOMBIA. DNP. (2004). *Cadenas productivas: estructura, comercio internacional y protección - Automotor*. Colombia: Departamento Nacional de Planeación.
- CONTRERAS J, A., ATZIRY ZUÑIGA, C., MARTINEZ F, J. L., & SÁNCHEZ P, D. (2016). *Analisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda de almacenamiento de productos perecederos*. España.
- FAYOL, H. (1973). *ADMINISTRACIÓN INDUSTRIAL Y GENERAL* (8va EDICIÓN ed.). BUENOS AIRES: EDITORIAL "EL ATENEO".
- FISHER, M. L., & ITTNER, C. D. (JUN de 1999). 45, 771-786. (Informs, Ed.) PHILADELPHIA: INFORMS. Recuperado el 4 de 10 de 2017, de <http://www.jstor.org/stable/2634770>
- LEE, C.-Y., & VAIRAKTARAKIS, G. (JUL - AGO de 1997). WORKFORCE PLANNING IN MIXED MODEL ASSEMBLY SYSTEMS. 45 No 4, 553 - 567. (INFORMS, Ed.) Recuperado el 1 de 11 de 2017, de <http://www.jstor.org/stable/172052>
- MEDINA L, A., NOGUEIRA R, D., PÉREZ N, A., & QUINTANA T, L. (2002). *LA EMPRESA COMO SISTEMAPRODUCTIVO. CRITERIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN*. Matanzas, Cuba.
- Mendoza Roca, C. (2004). *Presupuestos para empresas de manufactura*. Barranquilla, Colombia: Ediciones Uninorte.
- MESA, G., & JOSÉ ALBERTO, B. (2009). Optimización en procesos y asignación de recursos en las empresas del sector confección a través del balanceo de líneas de producción. 5.
- Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2010). *Economía con aplicaciones en latinoamerica* (19 edición ed.). México: McGraw-Hill.
- Villamil S, J. A., & Hernandez D, G. (13 de MARZO de 2015). Encadenamientos, Clústeres y Flujos de Trabajo en la Economía Colombiana. (D. N. PLANEACIÓN, Ed.) *ARCHIVOS DE ECONOMÍA*.

Recuperado el 8 de MAYO de 2016, de <https://www.dnp.gov.co/estudios-y-publicaciones/estudios-economicos/Paginas/archivos-de-economia.aspx>

YAN, H.-S., XIA, Q.-F., ZHU, M.-R., LIU, X.-L., & GUO, Z.-M. (2003). INTEGRATED PRODUCTION PLANNING AND SCHEDULING ON AUTOMOBILE ASSEMBLY LINES. *IIE TRANSACTIONS*, 35, 711-725. (IIE, Ed.)

YONGQIAN, Z., YUNPENG, W., BO, H., & YONGSHENG, W. (2011). A SEQUENCING APPROACH OF MODELS IN MIXED-MODEL ASSEMBLY LINES. 17. SHANGHAI.

BIBLIOGRAFÍA

- Carranza T, O., & Sabria, F. (2004). *Mejores prácticas logísticas en Latinoamérica*. México: Thomson.
- CEBALLOS CUARTAS, F. (2013). *MÉTODOS Y MODELOS DE PRONÓSTICOS*. Medellín, COLOMBIA: Universidad Pontificia Bolivariana.
- CHASE, R. B., JACOBS, F. R., & AQUILANO, N. J. (2009). *ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES Producción y cadena de suministros* (Duodécima edición ed.). México, D.F.
- CHIAVENATO, I. (2007). *Administración de recursos humanos* (Octava edición ed.). México: McGraw-Hill.
- CST. (14 de Octubre de 2018). Obtenido de sitio web de Secretaria del Senado: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/codigo_sustantivo_trabajo.html
- Domínguez Machuca, J. A. (1995). *Dirección de operaciones : aspectos tácticos y operativos de la producción y los servicios* (1ra ed.). Madrid, España: McGraw-Hill.
- Everett, A., & Ronald J, E. (1991). *Administración de la producción y las operaciones: conceptos, modelos y funcionamiento* (Cuarta edición ed.). México: Prentice Hall.
- GAITHER, N., & FRAZIER, G. (2000). *ADMINISTRACIÓN DE PRODUCCIÓN Y OPERACIONES* (Octava edición ed.). Mexico: International Thomson Editores.
- Grados E, J. A. (2013). *Reclutamiento, selección, contraración e inducción del personal* (4a. Edición ed.). México: EL manual moderno S.A.
- Grados E, J. E. (2013). *Reclutamiento, selección, contraración e inducción del personal* (4a. Edición ed.). México: EL manual moderno S.A.
- GUJARATI, D. N., & PORTER, D. C. (2010). *ECONOMETRÍA* (Quinta edición ed.). México: McGraw-Hill.
- HANKE, J. E., & REITSCH, A. G. (1996). *PRONOSTICOS EN LOS NEGOCIOS* (Quinta edición ed.). México: PRENTICE HALL.
- HANKE, J. E., & WICHERN, D. W. (2006). *PRONÓSTICOS EN LOS NEGOCIOS* (Octava edición ed.). México: PEARSON EDUCACIÓN.
- HEIZER, J., & RENDER, B. (2007). *DIRECCIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE OPERACIONES Decisiones estratégicas* (8.^a edición ed.). Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

KRAJEWSKI, L. J., RITZMAN, L. P., & MALHOTRA, M. K. (2008). *ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES* (Octava edición ed.). MÉXICO: PEARSON EDUCACIÓN.

Makridakis, S. G., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1997). *Forecasting_ Methods and Applications*. Wiley.

SCHROEDER, R. G., MEYER GOLDSTEIN, S., & RUNGUTUSANATHAM, M. J. (2011). *ADMINISTRACION DE OPERACIONES Conceptos y casos contemporaneos* (Quinta Edición ed.). MEXICO D.F.: Mc GRAW - HILL.

Sipper, D., & Bulfin Jr, R. (1998). *PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA PRODUCCIÓN*. MÉXICO D.F.: MCGRAW-HILL.

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. VENTAS MENSUALES NACIONALES DE VEHÍCULOS COMERCIALES DE PASAJEROS	10
FIGURA 2. TASAS DE EMPLEO Y DESEMPLEO EN COLOMBIA.	10
FIGURA 3. COMPORTAMIENTO PIB COLOMBIA 2012 – 2016.....	12
FIGURA 4. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO.....	21
FIGURA 5. CONFIGURACIONES PRODUCTIVAS.....	21
FIGURA 6. CARACTERÍSTICAS CONFIGURACIONES PRODUCTIVAS	22
FIGURA 7. ESTACIÓN DE TRABAJO	25
FIGURA 8. REPRESENTACIÓN LÍNEA DE ENSAMBLE.....	30
FIGURA 9. CARACTERÍSTICAS LÍNEAS DE ENSAMBLE.	34
FIGURA 10. RELACIÓN ELEMENTOS DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN Y PLANEACIÓN MANO DE OBRA.	35
FIGURA 11. RELACIÓN DISEÑO DE PRODUCTO VS. POLÍTICA DE INVENTARIOS	37
FIGURA 12. METODOLOGÍA DE BOX – JENKINS.	47
FIGURA 13. VOLUMEN CARROCERÍAS POR LÍNEA.....	70
FIGURA 14. DIAGRAMA DE PROCESO DE OPERACIÓN	73
FIGURA 15. DIAGRAMA DE PRECEDENCIA SECTOR 4.....	74
FIGURA 16. FLUJO PARA EL MONTAJE DE LA CARROCERÍA.	79
FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA – MONTAJE DE CARROCERÍA.....	81
FIGURA 18. REPRESENTACIÓN LÍNEA DE ENSAMBLE EN SUPERPOLO	83
FIGURA 19. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE MOD.....	86
FIGURA 20. CORRELOGRAMAS PRINCIPALES SERIES DE CARROCERÍAS	90
FIGURA 21. CORRELOGRAMAS PRIMERAS DIFERENCIAS	91
FIGURA 22. DIAGRAMA DE PRECEDENCIA SECTOR 4 - BALANCE LP - 4 CARROS DIARIOS.....	95
FIGURA 23. DIAGRAMA DE PRECEDENCIA – SECTOR 4 - BALANCE LP - 3 CARROS.....	96
FIGURA 24. DIAGRAMA DE PRECEDENCIA SECTOR 4 - BALANCE LP - 2 CARROS.....	96
FIGURA 25. DIFERENCIACIÓN TIPOS DE CONTRATO POR GRUPOS MOD.....	104

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. METODOLOGÍA	15
TABLA 2. ACCIONES SOBRE LA CAPACIDAD	20
TABLA 3. RELACIÓN ELEMENTOS LÍNEA DE ENSAMBLE CON PLANEACIÓN DE MANO DE OBRA	35
TABLA 4. COMPORTAMIENTO CORRELACIÓN.....	43
TABLA 5. TÉCNICAS DE PRONÓSTICO	44
TABLA 6. TÉCNICAS DE PRONÓSTICO COMUNES	45
TABLA 7. COSTOS RELACIONADOS CON LA ROTACIÓN DEL PERSONAL	54
TABLA 8. IMPACTO COSTOS SOBRE PLANEACIÓN DE MANO DE OBRA	55
TABLA 9. NORMAS PARA LA CONTRATACIÓN LABORAL EN COLOMBIA	57
TABLA 10. MODALIDADES DEL CONTRATO DE TRABAJO.....	57
TABLA 11. MODALIDADES DEL CONTRATO DE TRABAJO.....	58
TABLA 12. TERMINACIONES UNILATERALES DEL CONTRATO DE TRABAJO Y COSTOS	61
TABLA 13. MÁXIMA CANTIDAD DE TRABAJADORES A DESPEDIR	63
TABLA 14. REQUISITOS PARA LA MANO DE OBRA DIRECTA EN SUPERPOLO SAS	63
TABLA 15. COMPARACIÓN REQUISITOS LEGALES Y DE LA EMPRESA.....	65
TABLA 16. CLASIFICACIÓN DE CARROCERÍAS.....	69
TABLA 17. CARROCERÍAS PRINCIPALES	70
TABLA 18. MATERIA PRIMA POR SECTOR	71
TABLA 19. MATERIAL ENTRANTE Y ACCESORIO	71
TABLA 20. MATERIAL EN PROCESO Y TERMINADO	72
TABLA 21. POLÍTICA DE INVENTARIO.....	75
TABLA 22. MAQUINARIA POR SECTOR.....	76
TABLA 23. EQUIPO E INSTRUMENTOS DE PRODUCCIÓN POR SECTOR.....	76
TABLA 24. TRABAJADORES POR SECTOR	77
TABLA 25. JORNADA Y TURNOS.....	77
TABLA 26. EQUIPO PARA MOVIMIENTO DE MATERIAL POR SECTOR	78
TABLA 27. RELACIÓN DE ACTIVIDADES – MOVIMIENTO DE MATERIALES.	80
TABLA 28. RESULTADO ESTADÍSTICO LJUNG - BOX.....	88
TABLA 29. PATRONES IDENTIFICADOS EN LAS SERIES PRINCIPALES	92
TABLA 30. COMPARACIÓN RESULTADOS PRONOSTICO.....	92
TABLA 31. COEFICIENTES PRONOSTICO SERIES.....	93
TABLA 32. PRONÓSTICO SERIES PRINCIPALES.....	93
TABLA 33. CANTIDAD DE CARROCERÍAS POR DÍA	94
TABLA 34. MOD POR LÍNEA SECTOR 4	97
TABLA 35. RESULTADOS APLICACIÓN MODELO LINEAL.....	99
TABLA 36. PROGRAMA DE DESPIDOS.....	100

ANEXO 1. MÉTODO DE CALCULO DE MANO DE OBRA EN SUPERPOLO

El método consiste en aplicar la siguiente formula:

$$Mano\ de\ obra\ directa_{sector} = \frac{\sum Tiempo\ total_{carroceria\ por\ sector} \times Cantidad\ total_{mes}}{9,3\ horas \times Días\ disponibles_{mes}}$$

Para el periodo de tiempo que se analiza, le correspondería la siguiente cantidad de mano de obra directa:

MES	TIEMPO TOTAL CARROCERIAS	TIEMPO TOTAL DISPONIBLE	MANO DE OBRA DIRECTA
ENERO	11128	214	53,0
FEBRERO	10476	186	57,0
MARZO	12225	205	60,0
ABRIL	11747	195	61,0
MAYO	10470	214	49,0
JUNIO	10775	195	56,0
JULIO	11422	205	56,0

El valor de la mano de obra directa se redondea al entero siguiente.

El cálculo del costo total de utilizar esta estrategia cada mes es el siguiente:

MES	MANO DE OBRA DIRECTA CALCULADA	COSTO POR MANTENER MANO DE OBRA	CANTIDAD DE DEPIDOS O CONTRATACIONES	COSTO DE CONTRATAR Y DEPEDIR	COSTO POR INDEMNIZACIÓN
ENERO	53	\$ 95.400.000	(17,0)	\$ 37.400.000	\$ 91.800.000
FEBRERO	57	\$ 102.600.000	4,0	\$ 8.000.000	
MARZO	60	\$ 108.000.000	3,0	\$ 6.000.000	
ABRIL	61	\$ 109.800.000	1,0	\$ 2.000.000	
MAYO	49	\$ 88.200.000	(12,0)	\$ 26.400.000	\$ 64.800.000
JUNIO	56	\$ 100.800.000	7,0	\$ 14.000.000	
JULIO	56	\$ 100.800.000	0,0	\$ -	\$ 91.800.000
TOTAL	392	\$ 705.600.000		\$ 93.800.000	\$ 156.600.000

Se tiene como parámetro los siguientes costos unitarios:

Costo por despedir: \$2.200.000.

Costo por contratar: \$2.000.000.

Costo indemnización: \$1.800.000 x meses faltantes para terminar el contrato.

El costo total es de \$956.000.000.