



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLANEACIÓN DEL SUMINISTRO DE PARTES AUTOMOTRICES DE
LOS CENTROS DE DISTRIBUCIÓN DE UNA EMPRESA
AUTOMOTRIZ EN CENTRO Y SUDAMÉRICA.**

TRABAJO TERMINAL DE GRADO

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA DE LA CADENA DE SUMINISTRO

PRESENTA:
BRIANDA LIBERTAD FILIO MATUS

TUTOR ACADÉMICO: DR. JAVIER GARCÍA GUTIERREZ
TUTOR EXTERNO: DR. MANUEL GONZÁLEZ DE LA ROSA

TOLUCA, MÉXICO 2019

CONTENIDO

1. GENERALIDADES.....	3
ANTECEDENTES.....	3
1.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS REFACCIONES	3
1.2. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA.....	4
1.3. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL INVENTARIO.....	5
1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS CD DE CENTRO Y SUDAMÉRICA.....	5
1.5. EL PROCESO DEL ABASTO DE REFACCIONES.....	6
1.5.1. EL PROCESO DE PRONÓSTICO.....	7
1.5.2. PLANEACIÓN DEL SUMINISTRO	7
1.5.3. GESTIÓN CON EL PROVEEDOR PARA LAS ORDENES DE COMPRA OC	8
1.5.4. ALISTAMIENTO DEL PEDIDO EN PUERTO DE ORIGEN.....	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
2.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	14
2.3. OBJETIVOS	15
2.3.1 OBJETIVO GENERAL:	15
2.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	15
2.4. HIPÓTESIS.....	15
2.5. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. REVISION DE LA LITERATURA	17
3.1 CADENA DE SUMINISTRO.....	17
3.2 DEMANDA	17
3.3 PRONÓSTICO.....	18
3.4 INVENTARIO	18
3.5 POLÍTICA DE INVENTARIO.....	18
3.6 ABASTO GLOBAL Y RED DE DISTRIBUCIÓN.....	20
4. MÉTODO.....	22
4.1 MÉTODO DE PRONÓSTICOS	22
4.2 ANÁLISIS DE RIESGO DE CENTRALIZACIÓN	28
4.2.1 DATOS GENERALES PARA ANÁLISIS	28
4.2.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE AGRUPACIÓN DE RIESGOS	29

4.2.3	CONCLUSIONES DEL MÉTODO APLICADO.....	32
4.3	SIMULACIÓN DE CENTRALIZACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE ARENA.....	32
4.3.1	PRUEBA DE BONDAD.....	33
4.3.2	MODELOS DE SIMULACIÓN DEL PROCESO ACTUAL VS PROPUESTOS	35
	DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y DEL SISTEMA:.....	36
4.3.3	ANÁLISIS DE RESULTADOS CON PRUEBAS DE HIPÓTESIS CON ANOVA.	52
	COMPARACIONES EN PAREJAS DE TUKEY.....	54
	BIBLIOGRAFÍA.....	60
	ANEXO 1 Agrupación Tukey.....	63
	ANEXO 2 Métodos de pronóstico por series de tiempo.	65

1. GENERALIDADES

ANTECEDENTES

En México existen un total de cuatro millones 926 mil empresas, de las cuales según datos de la Secretaría de Economía (SE) el comercio total de importaciones y exportaciones para el año 2011 correspondió a 58 billones de dólares de las relaciones comerciales con China, dentro de estas relaciones se encuentra una empresa que pertenece al sector automotriz.

Esta empresa se dedica a ensamblar y comercializar motocicletas en México, Guatemala, Honduras y Perú. Asimismo, distribuye las refacciones para su reparación. Su red de servicio está conformada por más de 700 centros en México y Centroamérica, con amplios horarios que garantizan el mantenimiento y la disponibilidad de refacciones a sus clientes.

Sus procesos logísticos permiten garantizar la entrega de refacciones para la reparación de las motocicletas en 24 horas dentro de la república mexicana, un rango 48 a 72 horas en Honduras, de 48 a 96 horas para Guatemala, y de 48 a 120 horas para Perú.

1.1. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS REFACCIONES

En América la empresa tiene 4 centros de distribución (CD) de refacciones ubicados en México, Guatemala, Honduras y Perú.

Las refacciones están divididas en materiales de lealtad y materiales indispensables.

- **Materiales de lealtad:** Los materiales que se pertenecen a este grupo son las piezas de mayor desplazamiento, que son las piezas de desgaste automotriz, tales como bujías, balatas, zapatas, llantas, cámaras.
- **Materiales indispensables:** Los materiales que pertenecen a este grupo son, refacciones de colisión, filtros, partes de motor, tracción, amortiguadores, pedales, posapies, frenos y embragues.

1.2. REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LA EMPRESA.

La red de distribución de esta empresa en América está compuesta por 28 proveedores de los cuales 8 son los más importantes por ser los que suministran del 20 por ciento de los materiales que hacen el 80 por ciento de la venta, con 4 centros de distribución uno por cada país; México, Perú, Honduras y Guatemala, cada país cuenta con un número diferentes de clientes principales, para México son 12 clientes, Perú son 2 clientes, Honduras son 3 clientes, Guatemala son 3 clientes. Para fines de este trabajo solo los países de centro y Sudamérica son analizados, excluyendo el centro de distribución de México. En la figura 1 podemos observar la red de distribución con los 8 proveedores suministran a cada centro de distribución de Centro y Sudamérica que tiene la empresa en cuestión

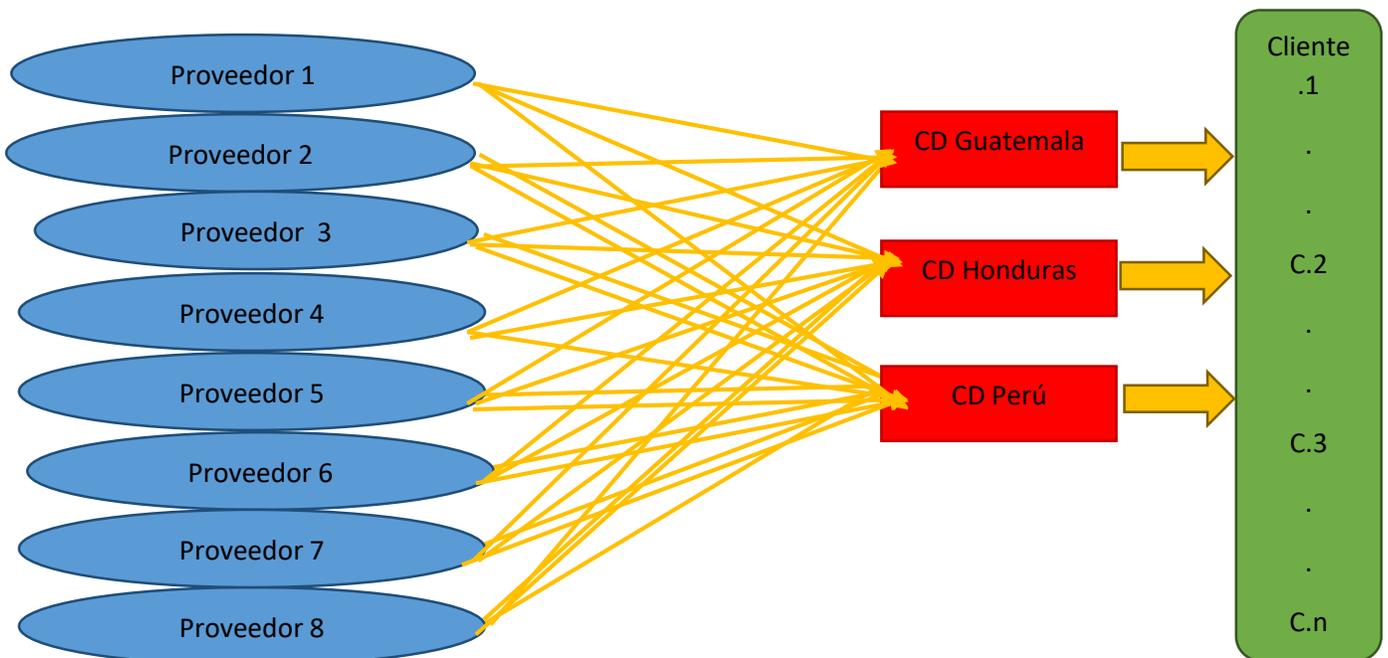


Figura 1 Red de distribución.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

1.3. DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL INVENTARIO.

Para administrar el inventario la empresa cuentan con la siguiente clasificación del estatus para todas las refacciones:

- Materiales Vigentes; son los materiales que están disponibles a la venta y tienen un inventario con una cobertura menor a 6 meses.
- Materiales “Excedentes 1”: Son materiales que tienen un inventario con cobertura promedio de más de 6 meses pero menos de 12 meses de demanda.
- Materiales “Excedentes 2”: Son materiales que tienen un inventario con cobertura promedio de demanda de 12 meses o más.
- Materiales Obsoletos: Son materiales que están bloqueados para la compra pero tienen un inventario en los CD para cubrir garantías de motocicletas en circulación.
- Materiales Nuevos: Se dividen en 2 tipos, el primero son los materiales que pertenecen a un nuevo modelo de motocicleta y que sus especificaciones no coinciden con algún material en existencia, el segundo son materiales que por fueron desarrollados con el objetivo de incrementar la eficiencia de las motocicleta (ejemplo: la migración de las baterías de ácido a las baterías i- gel).

1.4. DESCRIPCIÓN DE LOS CD DE CENTRO Y SUDAMÉRICA.

A continuación las características de cada CD de la empresa:

Guatemala;

1. Inventario: hasta el mes de febrero 2017 se contaban con 8,081 ítems de los cuales existía un inventario de 447,691 piezas y un \$1, 195,741.452 de dólares invertidos en el inventario. En cuanto al estatus del inventario se tenía el 19% del inventario en estatus de vigente, el 0.4% en bloqueo, el 28% en estatus Excedente 2 y finalmente 52% a piezas nuevas.
2. La venta para el centro de distribución de Guatemala alcanzó en 2015 \$46,424 y para 2016 tuvo un incremento de 17% que equivale a \$54,679
3. Almacén: El almacén donde se resguardan las refacciones tiene 1200 M2.

Honduras;

1. Inventario: Hasta el mes de febrero 2017 se tenían 1,864 ítems de cuales existía un inventario de 141,521 piezas y \$1, 770,077 dólares invertidos en el inventario. En febrero Honduras tenía el 82.93% del inventario en estatus de vigente, el 8.95% en bloqueo, el 6.34 % en estatus Excedente 2 y finalmente 1.77% en excedente 1.
2. Venta: en el 2015 su venta anual en CD de honduras fue de \$37,912 y en 2016 su venta anual \$36,362.
3. Almacén: El almacén donde se resguardan las refacciones tiene 905.25 M2.

Perú;

1. Inventario: Hasta el mes de febrero 2017 se tenían 6185 ítems de cuales existía un inventario de 751,331 piezas y \$3, 614,557 dólares invertidos en inventario. En febrero Perú tenía el 82.93% del inventario en estatus de vigente, el 8.95% en bloqueo, el 6.34 % en estatus Excedente 2 y finalmente 1.77% en excedente 1.
2. Venta: en el caso de Perú alcanzo en 2015 una venta de \$37,912 y en 2016 \$39,363
3. Almacén: El almacén donde se resguardan las refacciones tiene 1328 M2.

1.5. EL PROCESO DEL ABASTO DE REFACCIONES.

El proceso está fundamentado en una planeación de las compras y suministros mostrado en la figura 2. Se realiza un pronóstico, posteriormente se realiza la planeación del suministro, gestión con el proveedor para las órdenes de compra (OC), alistamiento del pedido en puerto de origen y finalmente recepción y acomodo de las refacciones.

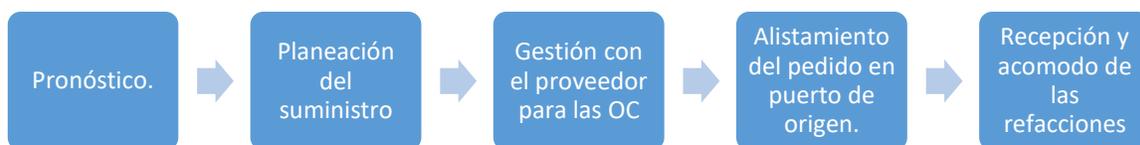


Figura 2. Proceso de abasto de refacciones.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

1.5.1. EL PROCESO DE PRONÓSTICO.

El proceso de abasto inicia por 2 motivos, la necesidad del mercado que comienza con el análisis de las refacciones, o por una orden atrasada.

- Para los materiales de lealtad, la dirección general de refacciones en conjunto con el departamento de mercadotecnia realizan un plan de venta anual con un objetivo de venta expresado en moneda local, que se desglosa de forma mensual y semanal por cada línea de producto.
- Para los materiales denominados indispensables se realiza un análisis de su historial de venta y ordenes atrasadas de cada mes y mediante el software SAP en el cual se tiene programado un MRP sigla en inglés que significa "Material Resource Planning" o sea, el proceso de SAP que permite la "Planificación de necesidades de aprovisionamiento" se realiza un pronóstico de venta para algún mes en específico.

Este proceso actualmente genera altos niveles de inventario en algunas refacciones y desabasto en otras.

¿El proceso de pronóstico es adecuado para apoyar el proceso de toma de decisiones de la empresa? ¿Debe realizarse por número de parte, por familia de productos o por proveedor? ¿Cómo debe realizarse el pronóstico para fortalecer el proceso de toma de decisiones? Sobre el proceso, sobre los datos, sobre la vigencia, sobre la visibilidad.

1.5.2. PLANEACIÓN DEL SUMINISTRO

- Para realizar la planeación del suministro de los materiales de lealtad y como se mencionó en el apartado anterior primero se hace una planeación de venta anual y con este realizan un calendario anual con las cantidades y frecuencias de compra de estos materiales, considerando el desplazamiento de cada mes y el programa de descuentos y promociones que se pretende realizar por el departamento de mercadotecnia realizando ajustes trimestrales, esto con el objetivo de cumplir con la meta anual.

- Para los materiales indispensables la planeación del suministro se lleva a cabo de forma trimestral considerando el mismo trimestre en el año pasado y el comportamiento del material de 3 meses anteriores.

Para ambos tipos de materiales, lealtad e indispensables, se considera un tiempo de 2 a 3 semanas de fabricación de las refacciones por parte del proveedor y 4 a 5 semanas de traslado del proveedor al puerto de cada país.

1.5.3. GESTIÓN CON EL PROVEEDOR PARA LAS ORDENES DE COMPRA OC

- Del resultado de los pronósticos y planeación se hace la gestión de compras con proveedor y se fija fecha de entrega en el puerto de Shanghai, China.
- Cuando algún país de Centro o Sudamérica tiene un requerimiento poco significativo, solicitan las refacciones al centro de distribución más cercano o en su defecto el CD que tenga disponibilidad de las refacciones.

1.5.4. ALISTAMIENTO DEL PEDIDO EN PUERTO DE ORIGEN.

Una vez tenidas las refacciones en el puerto extranjero, existen 3 opciones de carga en puerto.

1. La OC es suficiente grande (en volumen y peso) para un contenedor de 20 ó 40 pies, por lo tanto, una vez en puerto se cargan las refacciones al contenedor. Este proceso es el ideal, debido a que no tiene tiempos de espera y costos altos de maniobra. (Véase la figura 3)
2. una OC no es suficiente para un contenedor de 20 ó 40 pies, se realiza un proceso de consolidación con 2 o más órdenes de compra del mismo centro de distribución. Este es el proceso más común en los centros de distribución de Centroamérica, sin embargo, existen tiempos de espera y costos de maniobra. (Véase la figura 5)
3. La OC no es suficiente para un contenedor de 20 ó 40 pies. Se realiza un proceso de consolidación con diferentes órdenes al mismo destino, pero empresas diferentes. Este proceso es la opción cuando se existe alguna orden urgente, sin embargo, existen costos de maniobra y riesgos de confusión de mercancía. (Véase la figura 4)

Existe una 1 opción cuando la OC se realiza entre los centros de distribución CD de la empresa:

4. Cuando la compra se realiza entre los CD de la misma empresa, pero de diferente país el envío de la OC se hace de forma terrestre. Este proceso se realiza cuando el requerimiento es pequeño y urgente, sin embargo, tiene la desventaja del costo de la compra desde el precio del otro CD. (Véase la figura 6)

A continuación, se presentan 4 figuras del proceso suministro de las refacciones para los 3 centros de distribución.

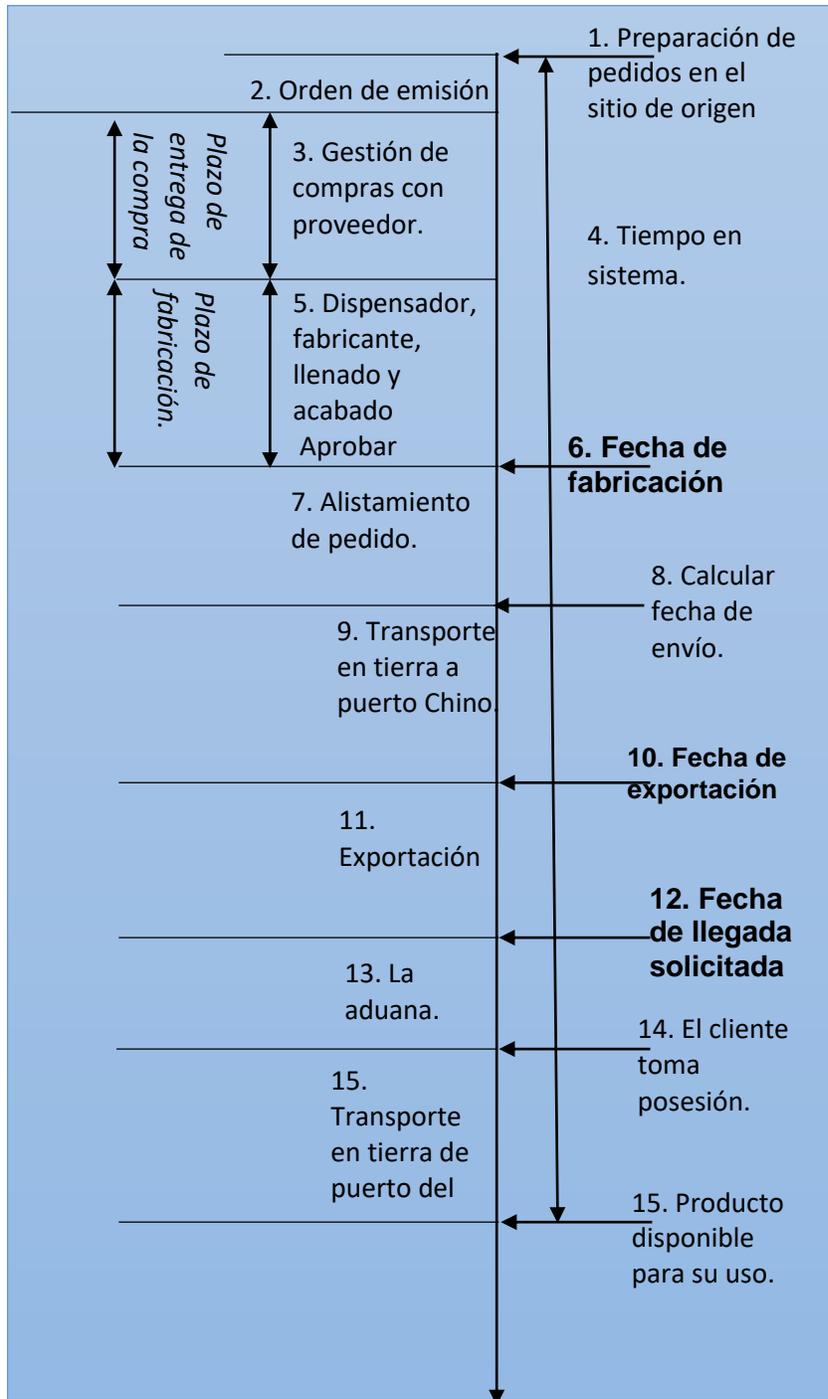


Figura 3. Proceso de suministro de refacciones a centros de distribución de envíos directos.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

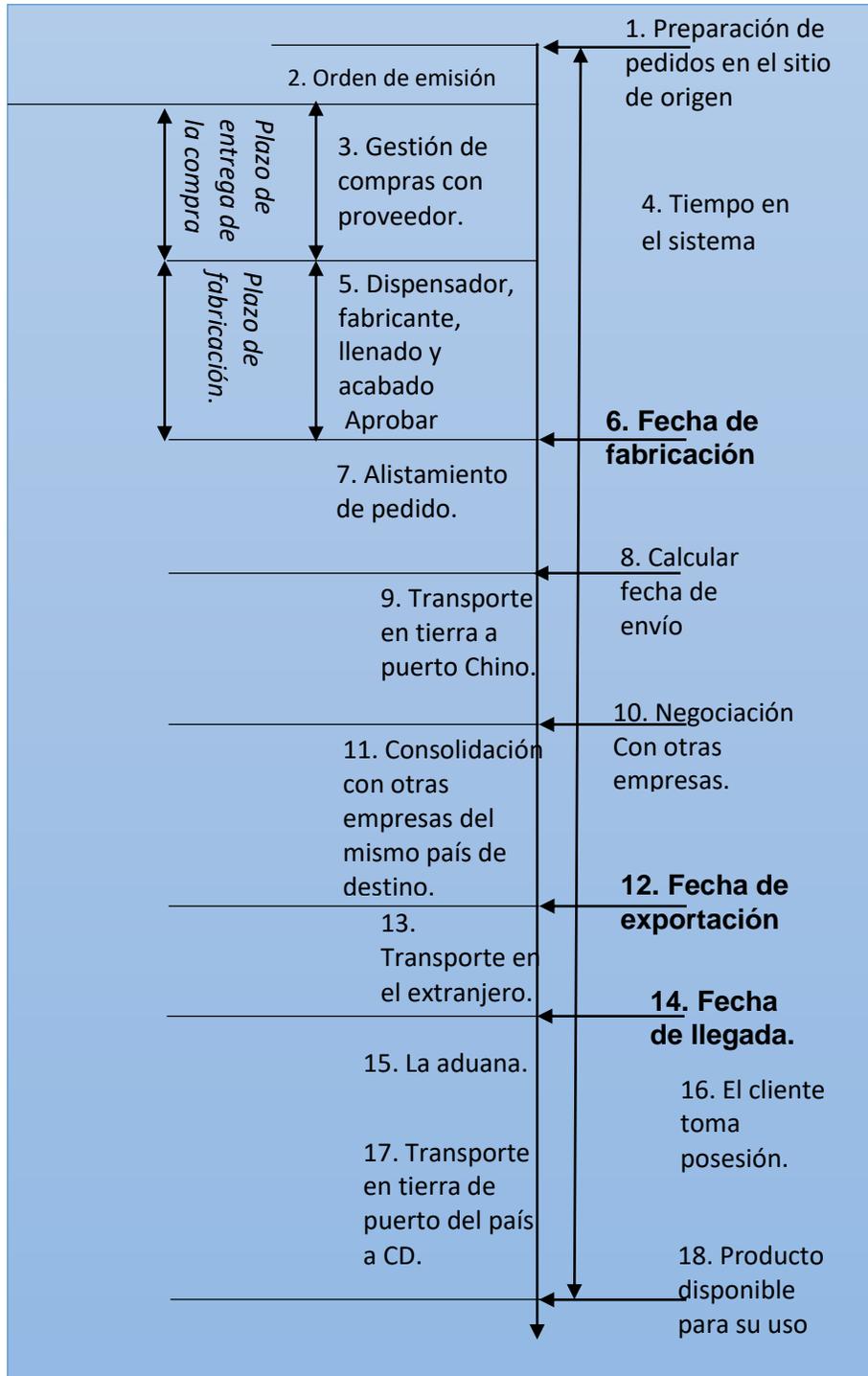


Figura 4. Proceso de suministro de refacciones consolidado con diferentes empresas.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

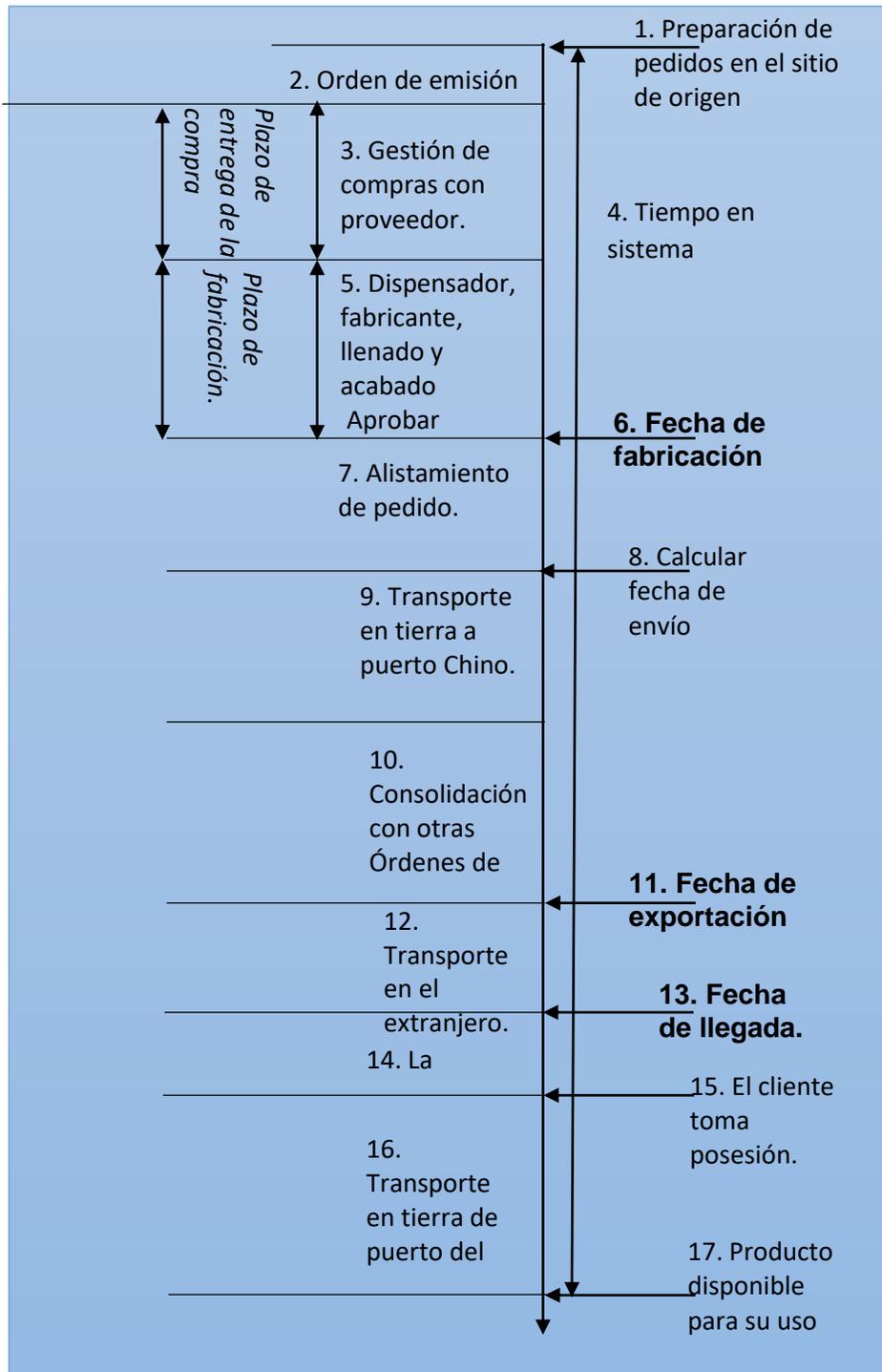


Figura 5. Proceso de suministro de refacciones a centros de distribución de diferentes OC.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

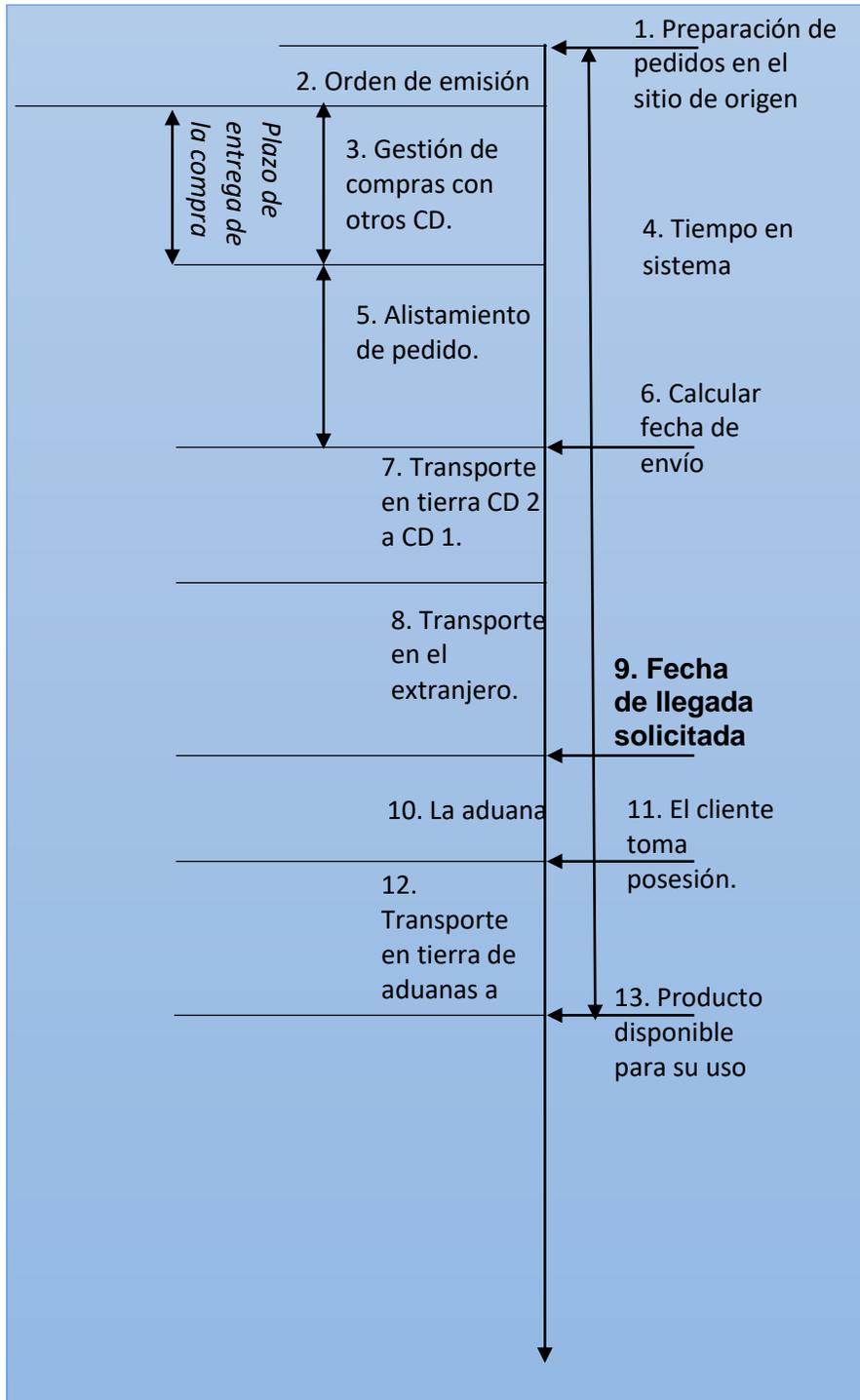


Figura 6. Proceso de suministro de refacciones a centros de distribución de envíos de otros CD.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

Un análisis global de costos del proceso de importación de la empresa, tomando como criterios, tiempos del suministro de refacciones, costos de exceso o defecto de inventario en los centros de distribución en Centro y Sudamérica convertidos en dinero, arrojaron un área de oportunidad para poder mejorar este proceso, a continuación 2 de efectos más negativos :

1. El tiempo establecido del suministro de materiales de China a Centro y Sudamérica es de 6 semanas máximo. Sin embargo, los registros de la empresa indican que los tiempos de espera del suministro de materiales superan las 6 semanas.
2. Los centros de distribución de Centro y Sudamérica basándonos en sus registros tienen un inventario de más de 6 meses de algunos productos, lo cual se cataloga como “Excedente” según la clasificación de la empresa, lo cual sugiere costos de inventarios altos.

Los 3 centros de distribución con los que cuenta la empresa en Centro y Sudamérica cuentan con sus propios procesos de planeación, compra e importación que actúan de forma aislada, lo que no permite que tengan una planeación colaborativa entre Centros los Distribución y que actualmente tiene múltiples efectos negativos.

Se realizó un diagrama de Ishikawa considerando los dos efectos negativos mencionados anteriormente y se identificó que la causa raíz del problema es mala planeación del suministro de los centros de distribución.

2.2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿El proceso de pronóstico es adecuado para apoyar el proceso de toma de decisiones de la empresa?
2. ¿Cómo debe realizarse el pronóstico para fortalecer el proceso de toma de decisiones?
3. Según el método análisis de riesgo de centralización ¿Qué porcentaje reduce las existencias regulares actuales con respecto a la propuesta de centralización?

4. Según la simulación ¿Qué porcentaje de tiempo reduciría si los proveedores suministraran a un CD y este se encargara del suministro de los demás CD en Centro y Sudamérica?
5. ¿Qué características tiene que tener el país de recepción de las refacciones?
6. ¿Existe un solo escenario o varios mejores al actual?

2.3. OBJETIVOS

2.3.1 OBJETIVO GENERAL:

- Realizar una propuesta de rediseño de la cadena de suministro para la empresa que permita garantizar la reducción del costo del inventario y tiempos del suministro de refacciones con la utilización de los mínimos recursos.

2.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar el pronóstico del 20 por ciento de las refacciones que hacen el 80 por ciento de la venta.
- Identificar el menor costo entre la centralización y descentralización.
- Plantear escenarios alternativos al del suministro actual.
- Evaluar los tiempos de suministro de los escenarios actuales a los propuestos.
- Reducción de los tiempos de suministro de refacciones.
- Incrementar la disponibilidad de refacciones.

2.4. HIPÓTESIS

- ▶ Ho: La reconstrucción de la red de los Centros de Distribución disminuirá los niveles de inventarios, reducirá tiempos de transportación, almacenes y tiempos de espera los pedidos.

2.5. JUSTIFICACIÓN

Debido a que la red de distribución actual, para la empresa en cuestión es muy importante la reducción de los costos de distribución, ya que representa un componente significativo de los costos totales. El tiempo para que los CD puedan realizar una OC se encuentran en un intervalo de 2 a 8 semanas, lo cual si nos encontramos en el extremos de este intervalo es un tiempo significativo para algunas refacciones y corto para otras, aunado a esto los tiempos de espera para la consolidación se encuentran en un intervalo de 1 a 4 semanas, esto sugieren la necesidad

de crear de una red de distribución eficiente para garantizar la competitividad de la empresa y asegurar un nivel de servicio con la utilización de los mínimos recursos, por es necesario abordar los elementos de los que dependen los costos de distribución. Estos elementos son los vehículos de transporte, las instalaciones fijas (almacenes, delegaciones, terminales de consolidación, terminales multimodales), y la propia mercancía transportada.

3. REVISION DE LA LITERATURA

3.1 CADENA DE SUMINISTRO.

El éxito de una cadena de suministro de fabricación depende de su capacidad para predecir con precisión las demandas de los clientes y producir a tiempo para satisfacer esas demandas. Por lo tanto, la predicción es el punto de partida para la mayoría de las decisiones de gestión de la cadena de suministro. (Ravindran & Warsing, Jr., 2016)

Una cadena de suministro incluye a todos los socios involucrados en el cumplimiento de las demandas de los clientes y todas las actividades realizadas en el cumplimiento de esas demandas. Es importante reconocer que las diferentes etapas de la cadena de suministro (proveedores, plantas, centros de distribución y minoristas) pueden estar ubicadas en diferentes países para una compañía multinacional con una red de cadena de suministro global. (Ravindran & Warsing, Jr., 2016)

3.2 DEMANDA

(Fisher, 1997; Trent & Monczka, 2005) señaló que la incertidumbre implícita de la demanda a menudo se correlaciona con otras características de la demanda.

1. Los productos con demanda incierta suelen ser menos maduros y tienen menos competencia directa. Como resultado, los márgenes tienden a ser altos.
2. El pronóstico es más preciso cuando la demanda es menos incierta.
3. Un aumento en la incertidumbre implícita de la demanda incrementa la dificultad en igualar la oferta con la demanda. Para un producto dado, esta dinámica puede llevar a una situación de desabasto o de excedentes de inventario. Esto nos conduce tanto a una tasa alta de excedentes como de faltantes.
4. Las rebajas son mayores para productos con una alta incertidumbre implícita de la demanda ya que provocan un exceso de oferta.

3.3 PRONÓSTICO

La predicción es una actividad clave que influye en muchos aspectos del diseño, la planificación y las operaciones de la cadena de suministro. En pocas palabras, un pronóstico es la mejor estimación de una variable aleatoria (demanda, precio, etc.) sobre la base de la información disponible. (Ravindran & Warsing, Jr., 2016)

Las predicciones agregadas son más precisas: las previsiones de demanda para toda la familia de productos son más precisas en comparación con las realizadas para cada miembro de la familia de productos. (Ravindran & Warsing, Jr., 2016)

Un pronóstico de demanda es un promedio estimado del tamaño de la demanda en algún período futuro. Pero no basta con estimar la demanda media. También necesitamos determinar cuán incierto es el pronóstico. Si el pronóstico es más incierto, se requiere un mayor stock de seguridad. Por lo tanto, también es necesario estimar el error de pronóstico, por ejemplo, representado por la desviación estándar o la desviación media absoluta (MAD) (Axsater, 2007)

3.4 INVENTARIO

El inventario normalmente en la cadena de suministro existe debido a un desajuste entre la oferta y la demanda, sin embargo, este desajuste también es provocado en donde el inventario se mantiene en previsión de la demanda futura. (Chopra & Meindl, 2013)

Por su parte el inventario se considera un activo de inactividad para la empresa y es una de las partes principales de costos de la cadena de suministro. El mantenimiento de grandes inventarios aumenta los costos de la cadena de suministro, pero ofrece un mayor nivel de servicio al cliente. Las variables de decisión claves aquí son elementos que se desea mantener en inventario, (materias primas, WIP y productos terminados), cuánto y cuándo ordenar (políticas de inventario), y dónde llevar a cabo el inventario (ubicaciones). (Ravindran & Warsing, Jr., 2016)

3.5 POLÍTICA DE INVENTARIO

(Edward, David, & Rein, 1998) Dice la forma de la política de inventario se resolverá con las siguientes preguntas: "¿Cuándo debe colocarse una orden de reabastecimiento? y ¿Cuán grande

debe ser la orden de reabastecimiento? “. La gestión de inventario se reduce a responder a esas dos preguntas, "¿cuándo?" Y "¿Cuánto?" (Ravindran & Warsing, Jr., 2016)

Los distribuidores se dan cuenta de que los inventarios a lo largo de toda la cadena de suministro pueden gestionarse más eficazmente mediante una mayor cooperación y una mejor coordinación.

Un sistema de control de inventario se basa generalmente en una selección adecuada de estos métodos. Sin embargo, los algoritmos eficientes no pueden garantizar un control exitoso. También es necesario crear un buen ambiente para la aplicación práctica de los métodos. Esto significa, por ejemplo, registros de inventarios correctos y objetivos sólidos para el control. (Axsater , 2007)

El propósito de un sistema de control de inventario es en general reducir los costos de mantenimiento y pedidos mientras se mantiene un servicio al cliente satisfactorio. Para ello es necesario poder evaluar continuamente el rendimiento del sistema. Se necesita una evaluación del rendimiento tanto para crear motivación para la aplicación eficiente del sistema como para poder ajustar el control cuando se producen varios cambios en las condiciones de funcionamiento. (Axsater , 2007)

Existen dos amplias categorías de métodos de predicción: métodos cualitativos o de criterio y métodos cuantitativos o estadísticos. (Ravindran & Warsing, Jr., 2016)

El elemento principal que afecta el inventario es la demanda. Desde el punto de vista del control de la producción, se supone que la demanda es variable incontrolable. Existen 3 factores importantes en un sistema de inventario, llamados variables de decisión, que se puede controlar:

¿Qué debe ordenarse? (decisión de variedad) ¿Cuándo debe ordenarse? (decisión de tiempo)

¿Cuánto debe ordenarse? (decisión de cantidad)

Para entender mejor estas decisiones de inventarios se examina un sistema de un solo artículo. La decisión de variedad es irrelevante y las otras dos se toman usando dos políticas de control de inventarios diferentes, conocidas como de revisión periódica y de revisión continua.

3.6 ABASTO GLOBAL Y RED DE DISTRIBUCIÓN.

Entre los varios factores que han contribuido a la complejidad de las cadenas de suministro actuales está el abasto internacional, el cual se refiere a la adquisición de bienes de proveedores localizados en cualquier parte del mundo, fuera del área geográfica donde se ubica la empresa compradora (Trent & Monczka, 2005)

El abasto global es la forma más avanzada de abasto internacional y se define como la integración y coordinación proactiva de materiales, componentes, procesos, tecnologías, diseños e instalaciones en el nivel mundial (Trent & Monczka, 2005)

En una red de transporte intervienen los siguientes actores (Crainic & Florian, 2008) (Bektas & Crainic , 2007):

a) Las empresas privadas (shippers), que son las generadoras de demanda y quienes toman las decisiones de dónde, cuánto y cuándo enviar de un producto basados en su producción y red de clientes, y cómo hacer los envíos a partir de la elección de los modos de transporte por usar. Las decisiones de estos actores afectan el sistema de transporte y pueden influir en las decisiones sobre infraestructura o política pública en cuanto al transporte.

b) El gobierno, que proporciona la infraestructura y servicios necesarios para habilitar el transporte. Resulta importante remarcar que la inversión en infraestructura de transporte contribuye al desarrollo regional y genera servicios adicionales, por lo cual la construcción de corredores y terminales intermodales puede estar asociada a las características demográficas y socioeconómicas de una región; por ejemplo, la decisión de expandir la infraestructura de transporte puede responder a las demandas de las empresas de una zona altamente industrializada o bien a la necesidad de activar una economía local deprimida. Además de la infraestructura, el gobierno es quien establece las políticas y regulaciones para el transporte contribuyendo con esto a facilitar el comercio internacional e incrementar el atractivo de una red de transporte.

c) Proveedores de servicios de transporte (carriers) que incluye tanto a los transportistas que consolidan la carga de varios clientes como a transportistas que tropicalizan u ofrecen servicios exclusivos a un cliente según sus requerimientos. Las empresas que consolidan envíos son un elemento esencial de las redes de transporte intermodal porque la integración que hacen de la carga genera economías de escala y permite a los clientes que manejan volúmenes bajos, el acceso a sistemas intermodales. Estos agentes, ya sean transportistas terrestres que mueven pequeños volúmenes (Less Than Truckload o LTL carriers), navieras, ferrocarriles o servicios de paquetería, operan principalmente transportando materiales entre puntos origen-destino específicos; una vez que los embarques arriban a estos puntos pueden transferirse a centros de consolidación antes de ser entregados al cliente en terminales determinadas o transportados en vehículos más pequeños hasta las instalaciones del cliente.

4. MÉTODO

4.1 MÉTODO DE PRONÓSTICOS

Los métodos que fueron ocupados para el pronóstico de la demanda de una empresa que se dedica a la venta y distribución de autopartes son los siguientes:

1. De los 6000 elementos con los que se cuenta en el catálogo de refacciones se realizó una depuración, eliminando los que tenían presencia en uno o dos centros de distribución conservando los que elementos que tenían presencia en los 3 centros de distribución quedándose con aproximadamente 4000 elementos.
2. Posteriormente se utilizó la “Regla 80-20” para realizar una primera clasificación de los productos de los 3 CD quedándonos 164 elementos, debido a que en el primer 80-20 eran demasiados para este trabajo se realizó una ponderación y se tomaron en consideración los primeros 50 elementos, en el diagrama de Pareto que se muestra en la figura 7 representa en la clasificación ABC en conjunto con el análisis 80-20 donde muestra en A tiene 50 elementos que hacen el 80% de las ventas, el B 16% y C 4%.

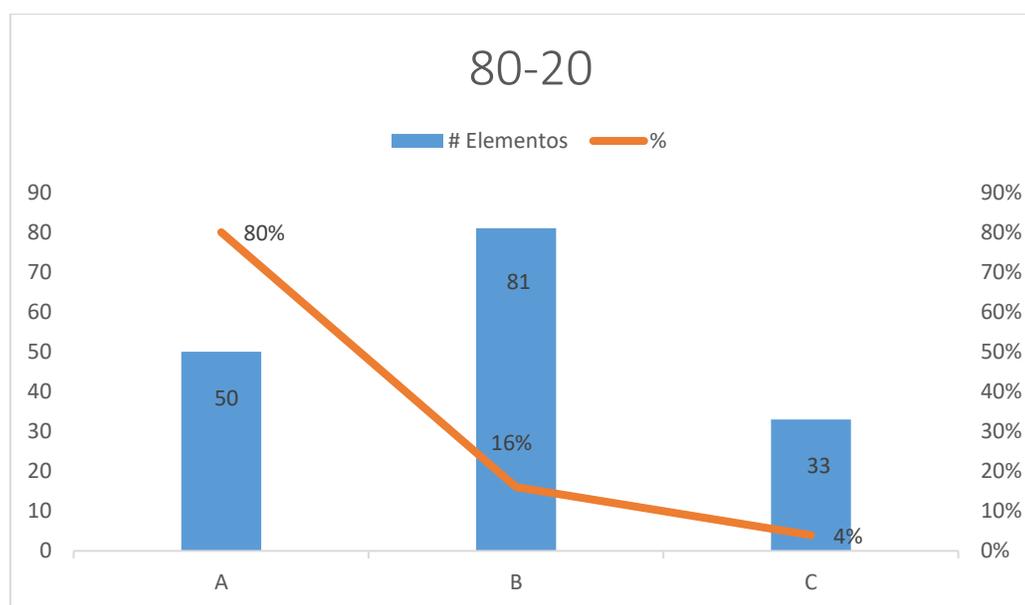


Figura 7: Diagrama de Pareto de la 2ª clasificación

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Para cada uno de los productos se grafica su demanda en el tiempo e identificar tendencia, ciclicidad, estacionalidad y aleatoriedad.

3. Con el resultado del 80-20 se graficaron los 50 elementos en base mensual durante un periodo tiempo de 2 años por país, con el objetivo de modelar la serie de tiempo como se muestra en las gráficas 8 a la 10.

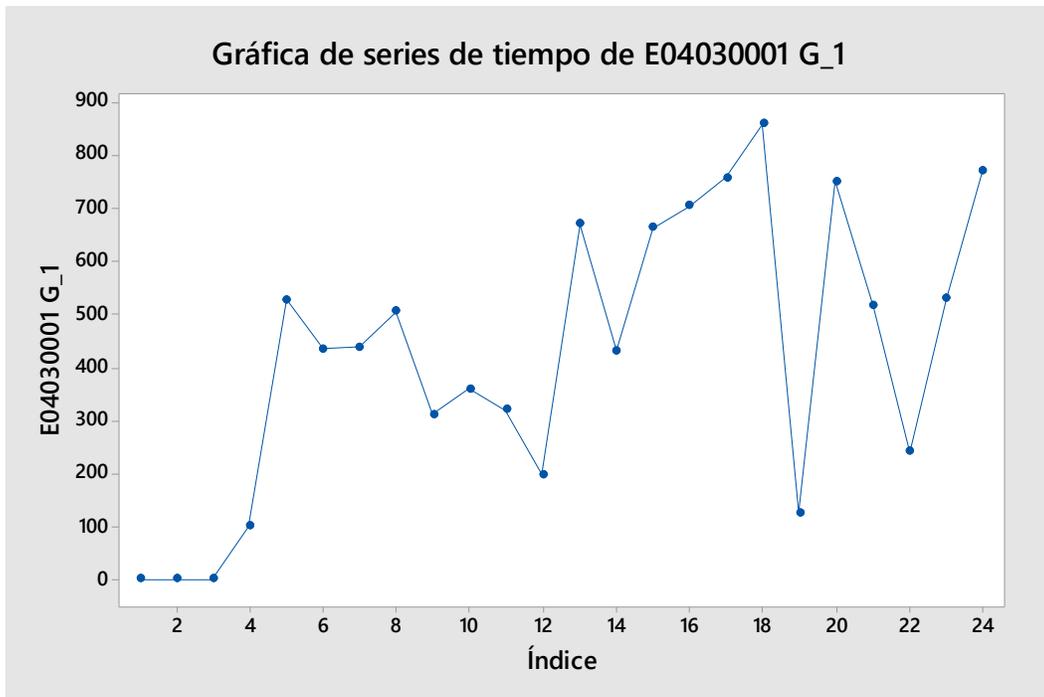


Figura 8: Gráfico del elemento E04030001 Guatemala creado en esta tesis.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

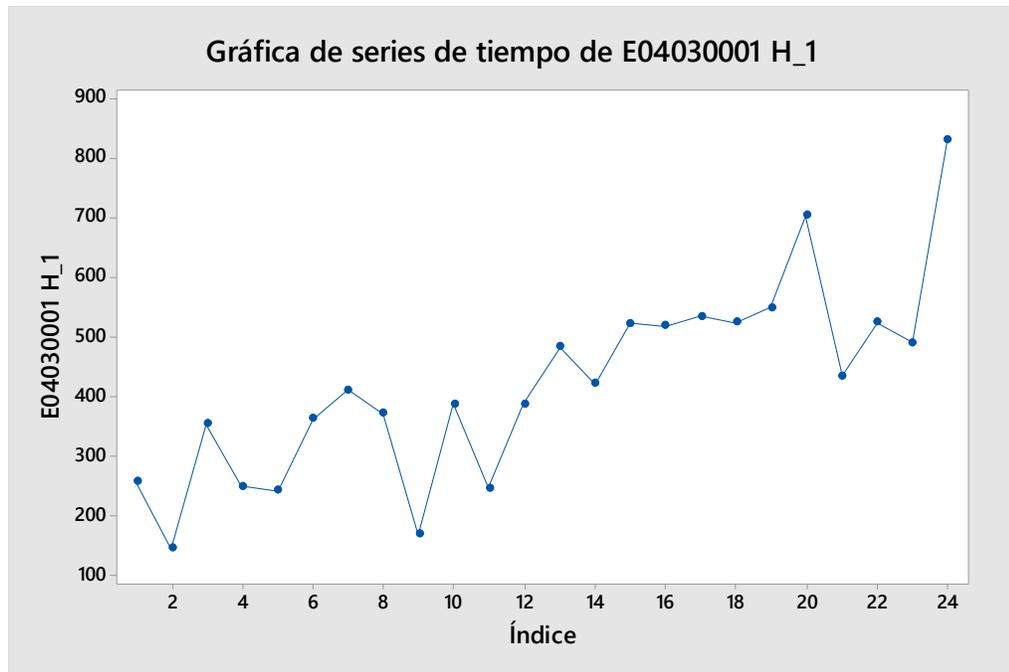


Figura 9: Gráfico del elemento E04030001 Honduras

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

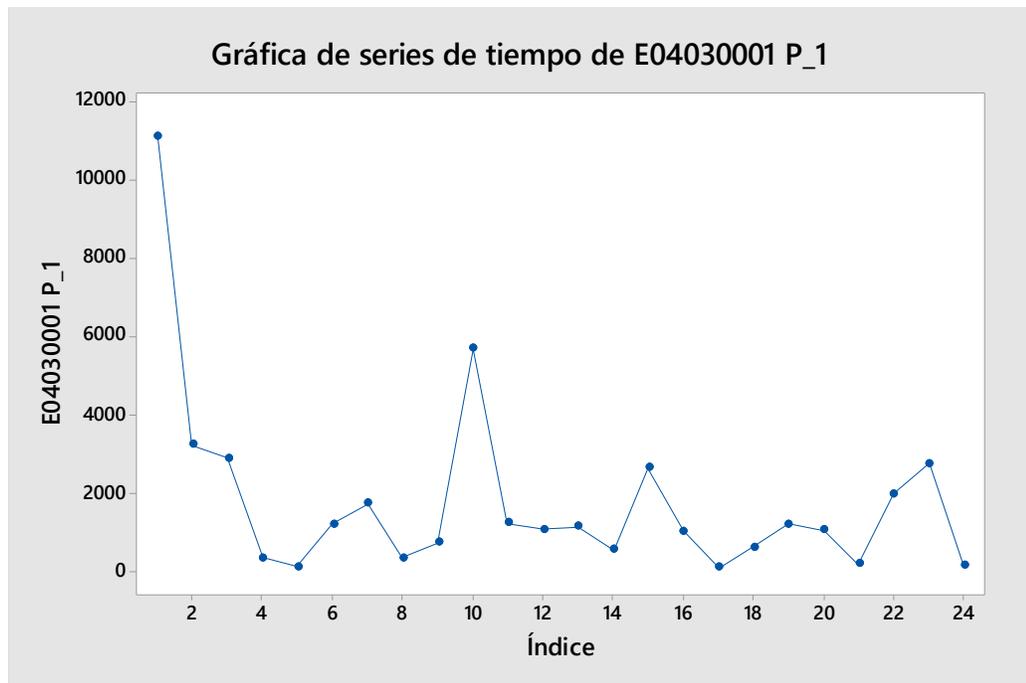


Figura 10: Gráfico del elemento E04030001 Perú

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

4. Se observó que en las gráficas de serie de tiempo las figuras 8 a la 10 la varianza no era constante, por tanto utilizamos la transformación más común que se utiliza para estabilizar la varianza de los datos, que es el logaritmo natural como se muestra en la figura 11

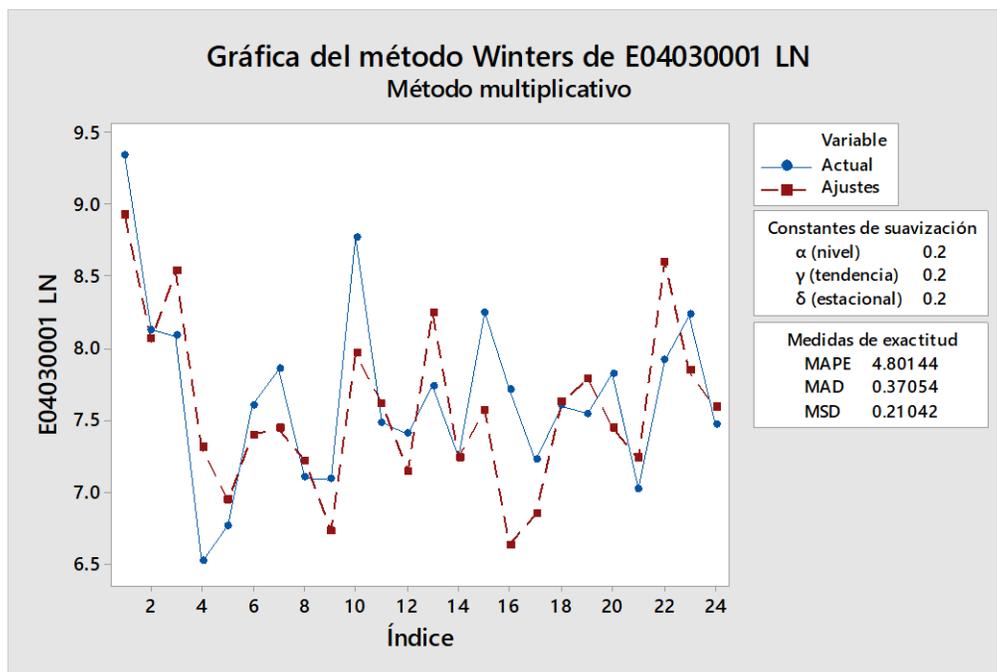


Figura 11: Grafica del Método multiplicativo para el elemento E04030001

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

5. Debido a que son series con estacionalidad y tendencia se utilizó el método de Winters (véase Anexo 2) que fue el método con menor Error Porcentual Absoluto Medio (MAPE), y posteriormente obtener el pronóstico de 6 meses como se muestra en las gráficas 12- a la 14.

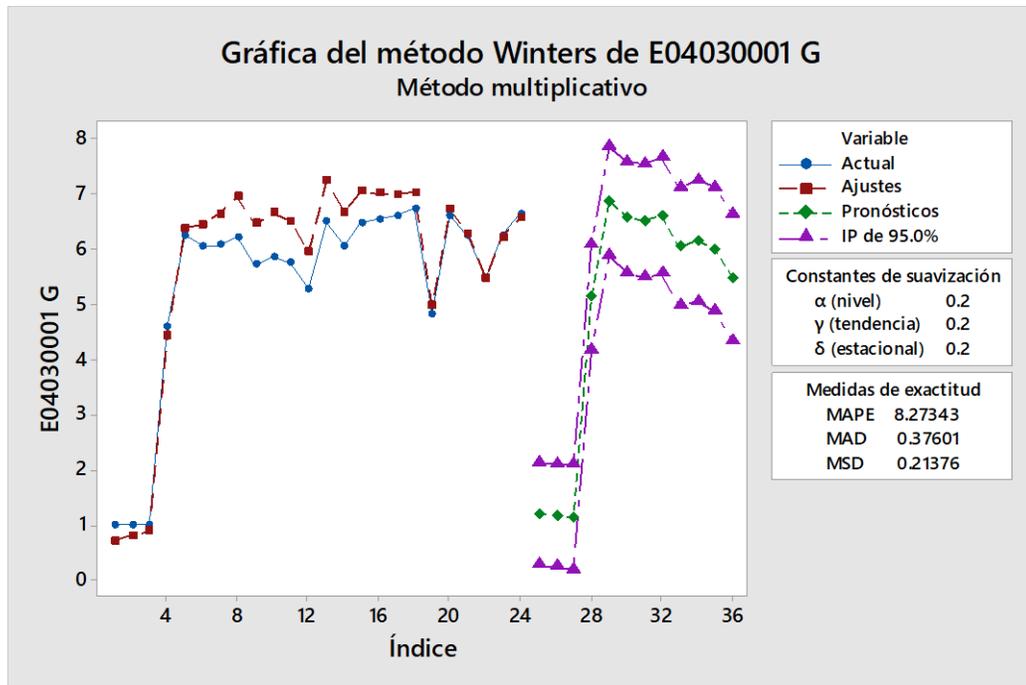


Figura 12: Grafica del Método Winters multiplicativo para el elemento E04030001 y pronóstico de Guatemala elaborada en Minitab.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

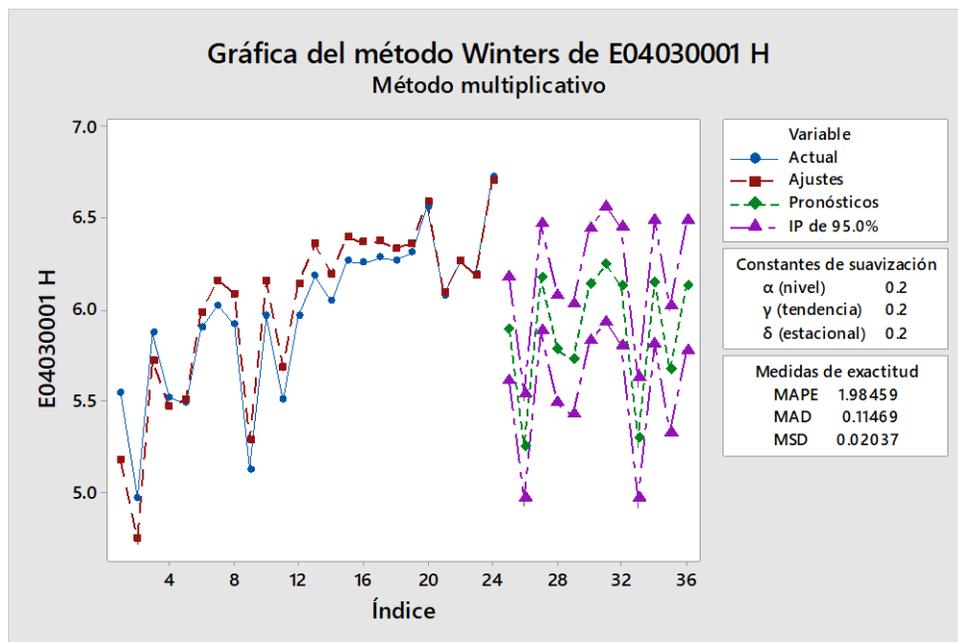


Figura 13: Grafica del Método multiplicativo para el elemento E04030001 y pronóstico de Honduras.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

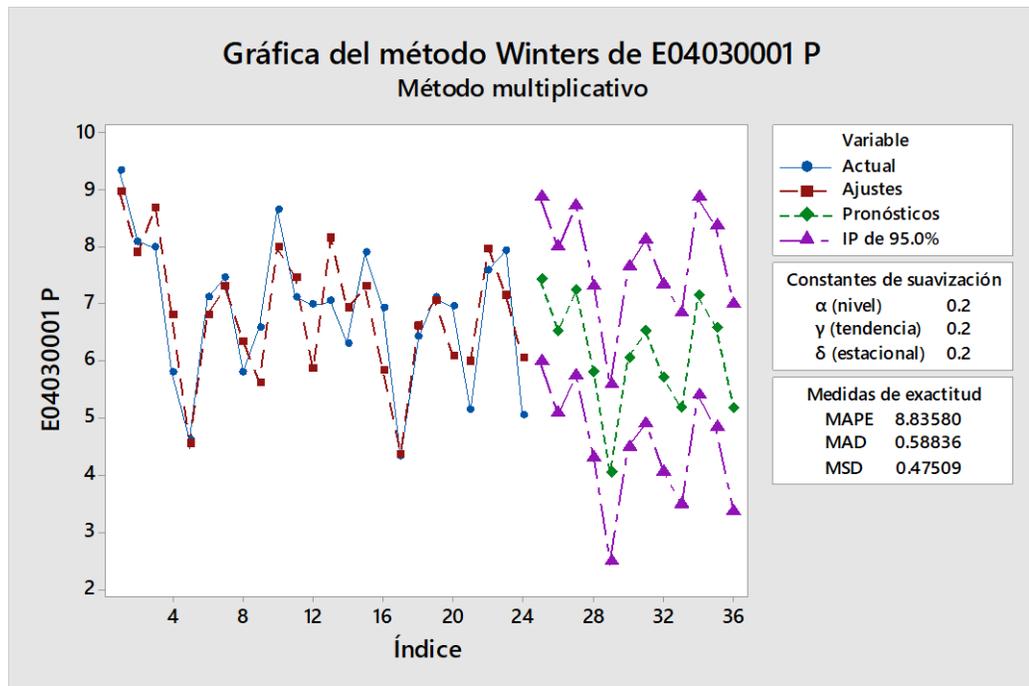


Figura 14: Gráfica del Método multiplicativo para el elemento E04030001 y pronóstico de Perú elaborada en Minitab.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

6. Finalmente del resultado del pronóstico se convierte a números reales, quedando de la siguiente manera.

Tabla 1: Datos de salida de MINITAB convertidos a números reales.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Período	Guatemala			Perú			Honduras		
	Pronóstico	Inferior	Superior	Pronóstico	Inferior	Superior	Pronóstico	Inferior	Superior
25	4	2	9	1635	387	6909	362	274	480
26	4	2	9	671	156	2901	191	144	254
27	4	2	9	1350	305	5984	479	358	640
28	171	65	451	324	71	1474	324	241	435
29	980	365	2632	56	12	259	306	227	414
30	728	266	1997	422	87	2046	460	339	626
31	684	244	1916	661	132	3318	515	376	705

32	751	262	2155	293	57	1522	457	331	630
33	427	145	1254	171	32	924	199	144	277
34	477	158	1436	1232	219	6927	468	334	655
35	408	132	1262	717	123	4200	290	206	409
36	242	76	768	175	29	1069	459	323	653

4.2 ANÁLISIS DE RIESGO DE CENTRALIZACIÓN

4.2.1 DATOS GENERALES PARA ANÁLISIS

La planeación agregada del nivel de inventario a menudo implica proyectar cómo cambiarán los niveles de inventario en los puntos de abastecimiento con respecto de los cambios en el número de ubicaciones de aprovisionamiento y sus puntos de salida o de producción

Al planear una red logística es común ampliar o reducir el número de puntos de abastecimiento para satisfacer el servicio al cliente o los objetivos de costos.

La agrupación de riesgos sugiere que, si los inventarios están consolidados en menos ubicaciones, sus niveles se reducirán.

Los niveles del sistema de inventarios son resultado de equilibrar las existencias regulares, que son afectadas por la política de inventarios, y las existencias de seguridad, que son afectadas por el grado de *incertidumbre en la demanda y el tiempo de entrega*. (Ballou, 2004)

Para realizar el análisis de riesgo se utilizaron los siguientes datos de cada elemento.

Tabla 2 Datos de elemento E04030001

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Datos solicitados	Elemento E04030001					
	Perú		Guatemala		Honduras	
	Datos actuales	pronostico	Datos actuales	pronostico	Datos actuales	pronostico
La demanda promedio mensual	1780	407	425	642	422	376
desviación estándar	2366	331	264	513	162	113

El tiempo de entrega de reaprovisionamiento	1	1.2	1.1
valor del producto	\$0.5	\$0.5	\$0.5
costo de reaprovisionamiento del pedido	\$0.15	\$0.20	\$0.25
costo de manejo de inventario	3%	3%	3%
La probabilidad de tener existencias durante el tiempo de entrega	85%	95%	92%

4.2.2 APLICACIÓN DEL MÉTODO DE AGRUPACIÓN DE RIESGOS

Para el cálculo de existencias regulares y exigencias de seguridad se utilizan la fórmula 1 y 2.

- Existencias regulares.

$$RS = \frac{Q}{2} = \frac{\sqrt{\frac{2dS}{IC}}}{2}$$

Formula 1 cálculo de existencias regulares

Donde:

Q= cantidad económica de pedido.

d= demanda

S= costo de reaprovisionamiento del pedido

I= costo de manejo de inventario

C= valor del producto

Tomando como representación del 2do 80-20 el elemento E04030001 calculando las existencias regulares de los datos del pasado y del pronóstico previamente calculado con un centro de distribución y con los 3 centros de distribución en funcionamiento.

Caso 1. Calculo de las existencias regulares de la base de datos con los 3 centros de distribución en funcionamiento.

$$RS_{Peru} = \frac{\sqrt{\frac{2(1780)(0.20)}{(3\%)(0.5)}}}{2} = 109$$

$$RS_{Guatemala} = \frac{\sqrt{\frac{2(425)(0.20)}{(3\%)(0.5)}}}{2} = 53.22$$

$$RS_{Honduras} = \frac{\sqrt{\frac{2(422)(0.20)}{(3\%)(0.5)}}}{2} = 53$$

$$RS_{Total} = 109 + 53.22 + 53 = 215.17$$

Caso 2. Calculo de las existencias regulares de la base de datos con lo 1 centros de distribución en funcionamiento.

$$D = d1 + d2 + d3 = 1780 + 425 + 422 = 2627$$

$$RS_{Centralizado} = \frac{\sqrt{\frac{2(2627)(0.2)}{(3\%)(0.5)}}}{2} = 132$$

Caso 3. Calculo de las existencias regulares de la base de datos resultado del pronóstico con los 3 centros de distribución en funcionamiento.

$$RS_{Peru} = \frac{\sqrt{\frac{2(407)(0.20)}{(3\%)(0.5)}}}{2} = 55$$

$$RS_{Guatemala} = \frac{\sqrt{\frac{2(642)(0.2)}{(3\%)(0.5)}}}{2} = 52$$

$$RS_{Honduras} = \frac{\sqrt{\frac{2(376)(0.2)}{(3\%)(0.5)}}}{2} = 50$$

$$RS_{Total} = 55 + 52 + 50 = 157$$

Caso 4. Calculo de las existencias regulares de la base de datos resultado del pronóstico con los 3 centros de distribución en funcionamiento.

$$D = d1 + d2 + d3 = 407 + 642 + 376 = 1425$$

$$RS_{Centralizado} = \frac{\sqrt{\frac{2(1425)(0.2)}{(3\%)(0.5)}}}{2} = 97$$

- Existencias de seguridad.

$$SS = ZS_d\sqrt{TE}$$

Formula 2 cálculos de existencias de seguridad.

Donde:

TE= El tiempo de entrega de reaprovisionamiento.

Así como se calculó las existencias regulares, también se calcularán las existencias de seguridad.

Caso 1. Calculo de las existencias de seguridad de la base de datos con los 3 centros de distribución en funcionamiento.

$$SS_{Perú} = (1.96)(2366)\sqrt{1} = 4636$$

$$SS_{Guatemala} = (1.96)(264)\sqrt{1.2} = 518$$

$$SS_{Honduras} = (1.96)(162)\sqrt{1.1} = 232$$

Caso 2. Calculo de las existencias de seguridad de la base de datos con 1 centros de distribución en funcionamiento.

Para las existencias de seguridad en el almacén centralizado, calculamos la desviación estándar de la demanda a partir de

$$S_{centralizado} = \sqrt{2366^2 + 264^2 + 162^2} = 2385$$

$$SS_{Centralizado} = (1.96)(2385)\sqrt{1.1} = 5751$$

Caso 3. Calculo de las existencias de seguridad de la base de datos del pronóstico con los 3 centros de distribución en funcionamiento.

$$SS_{Perú} = (1.96)(331)\sqrt{1} = 1006$$

$$SS_{Guatemala} = (1.96)(513)\sqrt{1.2} = 710$$

$$SS_{Honduras} = (1.96)(113)\sqrt{1.1} = 232$$

Caso 4. Calculo de las existencias de seguridad de la base de datos con 1 centros de distribución en funcionamiento.

Para las existencias de seguridad en el almacén centralizado, calculamos la desviación estándar de la demanda a partir de

$$S_{centralizado} = \sqrt{331^2 + 513^2 + 113^2} = 621$$

$$SS_{Centralizado} = (1.96)(621)\sqrt{1.1} = 1276$$

4.2.3 CONCLUSIONES DEL MÉTODO APLICADO.

La tabla que se muestra a continuación resume los resultados de los cálculos de las existencias regulares (RS) y las existencias de seguridad (SS) para los datos históricos y los resultados del pronóstico, con la que podemos concluir que las existencias regular y de seguridad han disminuido mediante la consolidación.

Tabla 3 Resumen del método agrupación de riesgos.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

	Con datos históricos		Con datos del pronóstico	
	RS	SS	RS	SS
Descentralizado	215	5536	168	1948
Centralizado	132	4800	97	1276

4.3 SIMULACIÓN DE CENTRALIZACIÓN MEDIANTE EL SOFTWARE ARENA.

Para poder realizar la simulación se realizó la recolección de datos del proceso de suministro de refacciones, debido a que los costos son datos muy delicados para compartir se realizó la simulación basada en los tiempos del proceso. En este caso la mayoría de datos requeridos la empresa proporciono el tipo de distribución, media, mínimos, máximos, entre otros, para el caso de los tiempos de la exportación se contaba con los registros en el sistema dando lugar a la prueba de bondad que veremos en el apartado 4.3.1 Prueba de bondad.

Los modelos en arena representan los tiempos en la cadena de suministro desde china cada centro de distribución.

La aplicación de la simulación persigue los siguientes objetivos: Analizar el sistemas ya existentes, para su mejor comprensión y optimizado de los mismos para la evaluación de distintas estrategias ante un mismo problema en el sistema.

4.3.1 PRUEBA DE BONDAD

Paso 1

Inicialmente se graficaron los datos de los tiempo de exportación de China a cada Centro de distribución que la empresa tenía registrados en SAP un software de gestión empresarial, como se muestra en la figura 15, los datos proporcionados de la exportación de Perú en la cual se muestra una aparente distribución normal, para tener la certeza se realizara la prueba de bondad asegurando así que se cumple estadísticamente con una distribución normal.

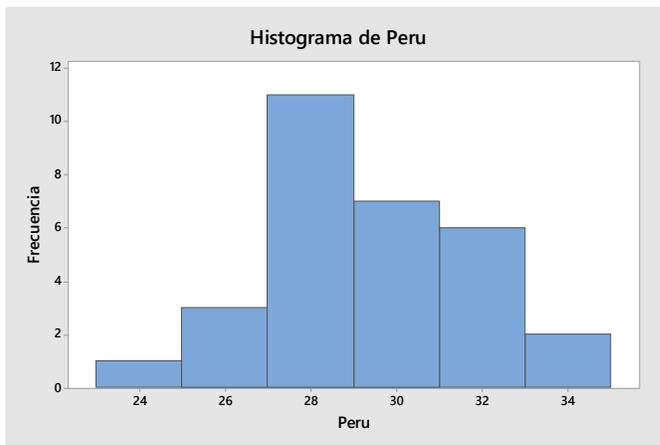


Figura 15 Histograma

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Paso 2

Se determinó la media y desviación estándar de cada serie de datos.

Tabla 4. Datos de los tiempos de transportación de Perú.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Perú							
29	27	29	23	27	27	30.4	Media
34	28	31	28	31	27	2.8	Desviación estándar
29	31	27	26	31	27	23	Min
29	30	28	26	25	28	35	Max
31	29	30	31	35	28		

Paso 3 Se planteó la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

H0; Los datos se ajustan a una distribución Normal.

H1; Los datos no se ajustan a una distribución Normal.

Paso 4

Se calcula Límite Inferior y superior y completa la tabla a continuación para calcular el valor estadístico.

Tabla 5 Prueba de bondad

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Perú							
Lim. Inf	Lim Sup	Fo	Z	Fe	Fo-Fe	(Fo-Fe) ²	(Fo-Fe) ² /Fe
23	26.0	2	-0.97	4.980	-2.980	8.884	1.8
26.0	27.5	8	-0.43	5.027	2.972	8.837	1.8
27.5	28.7	5	0.00	4.992	0.007	6.2958E-05	0.0
28.7	29.9	5	0.43	4.992	0.007	6.2958E-05	0.0
29.9	31.4	8	0.97	5.027	2.972	8.83731845	1.8
31.4	35.0	2	2.24	4.602	-2.602	6.77287459	1.5
		30	2.238	29.621			6.771

Paso 4 se compara el valor crítico y el estadístico de prueba.

GL= K-P-1 Valor critico = 7.8 Valor estadístico= 6.77

Conclusión: No se rechaza H_0 , los datos de la muestra corresponden a una población que tiene una distribución normal.

Se concluye que debido a los resultados en las 3 pruebas de bondad para los 3 CD los datos de la muestra presentan una distribución normal.

4.3.2 MODELOS DE SIMULACIÓN DEL PROCESO ACTUAL VS PROPUESTOS

Como se mostró en el apartado 1.5.4. Alistamiento del pedido en puerto de origen existen 4 formas de realizar el proceso de suministro de los centros de distribución, sin embargo 2 de ellos quedaron deshabilitados debido al análisis inicial de la empresa, por lo que en la simulación únicamente 2 de ellos serán objetos de estudio, el suministro consolidando diferentes empresas y diferentes órdenes de compra, representado por las figura 5 y 6 respectivamente.

Escenarios actuales:

Como fue descrita en el punto “1.5.4 Alistamiento de pedido en puerto de origen” figura 6 la consolidación con diferentes órdenes de compra hechas al mismo proveedor es la primera forma de suministro actual, derivado de este existen 3 escenarios donde cada centro de distribución realiza su suministro de manera paralela, por lo que se crean sus respectivos modelos, véase las figuras 19, 21 y 22.

La figura 5 es la segunda forma de suministro actual, dando lugar a 3 escenarios más, donde se consolida con diferentes empresas, por lo que se crearan 3 modelos de simulación uno para cada centro de distribución debido a que hay diferencias en sus tiempos, véase en la figura 18, 20 y 23.

Escenarios propuestos:

Por la naturaleza de la investigación cualquiera de sus 3 centros de distribución es candidato ser el centro de distribución principal y este distribuir a los otros 2. Lo anterior da lugar a la primera propuesta de 3 escenarios, se realizaron 3 modelos de simulación poniendo un centro de distribución diferente en cada modelo como se muestran las figuras 24, 25 y 26.

También se vio la posibilidad de tener 1 CD que suministre a un segundo CD y dejar al tercer CD tal y como está, por lo que se formularon 2 escenarios más, uno donde Guatemala es el principal y suministra a Honduras y el segundo escenario donde Honduras suministra a Guatemala, esto debido a que geográficamente son cercanos. Véase figura 27 y 28.

DEFINICIÓN DE OBJETIVOS Y DEL SISTEMA:

El objetivo de la simulación es evaluar los modelos actuales y los modelos propuestos para determinar el modelo que concluya con menor tiempo desde que se pone el pedido hasta que se encuentra en el centro de distribución destino, dicho de otra forma con menor tiempo en sistema.

Se planteó las siguientes hipótesis nula y alternativa:

H0; Los modelos actuales tienen un menor tiempo en sistema con respecto a los propuestos.

H1; Los modelos actuales no tienen un menor tiempo en sistema con respecto a los propuestos.

Para realizar la simulación en arena se planteó unos modelos conceptuales de los cuales partir para crear los modelos de simulación en arena.

En la simulación del proceso de suministro se creó para un proveedor y dos de sus elementos principales debido a que el tiempo entre los proveedores no existe diferencia significativa, por lo que se generaron 2 “CREATE” con una sola entidad por elemento.

El bloque “BATCH” se encarga de volver a unir en 1 las entidades que se han separado con el bloque separate, que en este caso han sido 2. En el caso de las simulaciones del proceso actual es de tipo permanente debido a que de aquí al final del ciclo no se vuelven a separar y solamente es un pedido y en caso de las simulaciones propuestas es de tipo “TEMPORARY” debido a que se separa más adelante para cada centro de distribución

El bloque “SEPARATE”: cuando la entidad pasa por este bloque se divide en dos. Se ha utilizado para simular cuando el pedido se separa para cada centro de distribución.

El bloque “PROCESS” cuando entidad para por un proceso el cual tiene una distribución y parámetros, en este caso todos los datos fue proporcionado por la empresa con excepción los

tiempos de transportación en los cuales se realizó una prueba de bondad para determinar el tipo de distribución y parámetros.

A continuación se muestran dos herramientas que se han utilizado para controlar los parámetros de la simulación.

- RUN SETUP

Antes de comenzar la simulación, se debe introducir en el programa el número de ciclos que se quieren simular. Esto se indica en la barra de herramientas Run-Setup

Al abrir esta opción se muestra una ventana tal y como se muestra en la figura 16.

En la pestaña de Replication Parameters se ha indicado que la simulación se repita 30 veces (Number of Replications) esto quiere decir que cuando llegue a la condición de terminación vuelva a empezar 30 veces.

En el apartado Replicaton Legth que no es otra que la longitud de réplicas, se indicó 365 días debido a que son los días que se trabaja.

En el periodo de calentamiento se indicó 0 (Warm-up Period=0), es decir, todos los datos desde el minuto 0 son usados para producir las estadísticas.

Por último se encuentra la condición de terminación de la simulación. La simulación terminará cuando cualquiera se alcance el número máximo de ciclos. En ese momento saldrá un aviso del programa que preguntará si se quieren mostrar las estadísticas como se muestra en la figura 17.

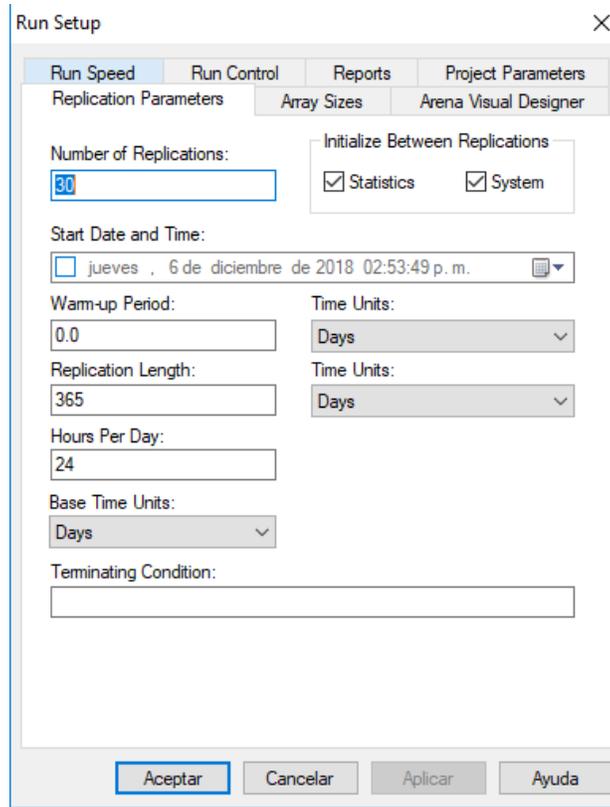


Figura. 16 Run set up.

Fuente: Software Arena

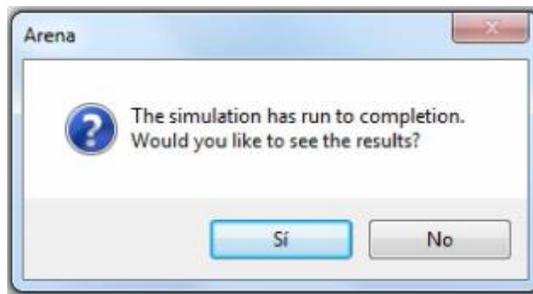
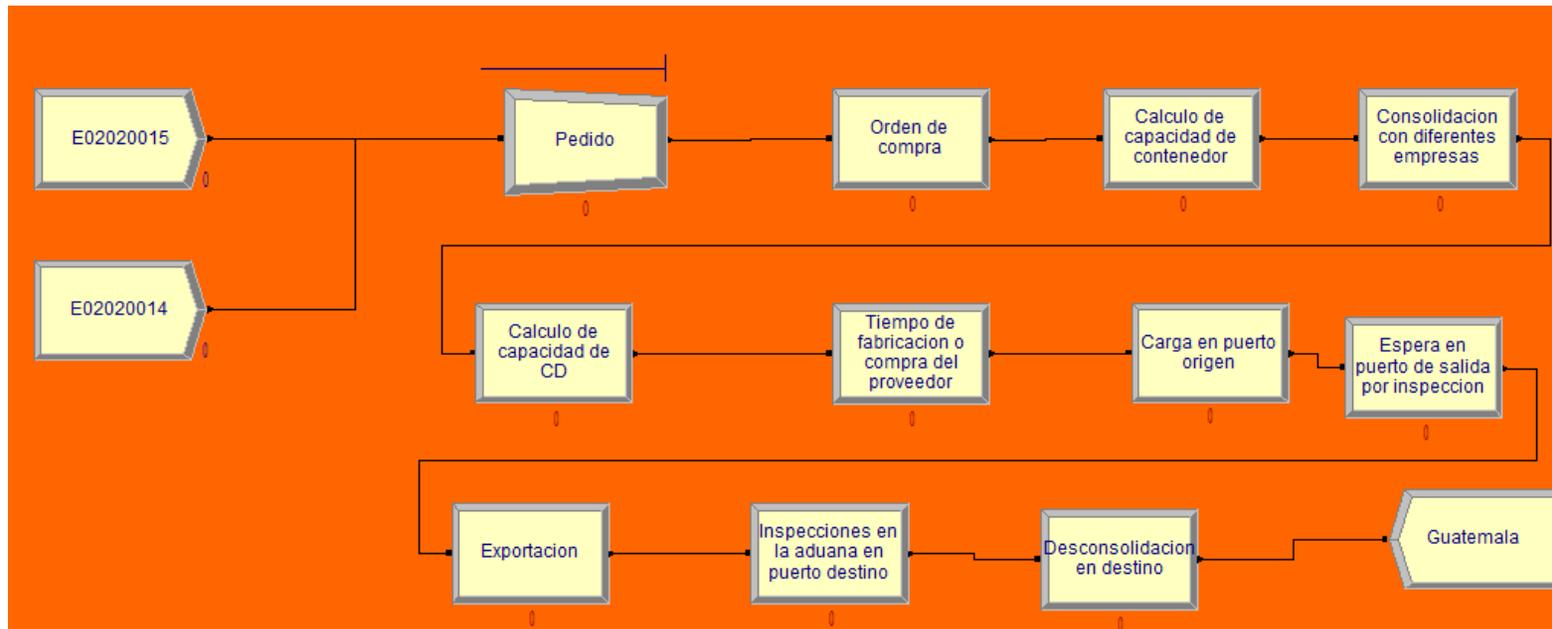


Figura. 17. Resultados finales.

Fuente: Software Arena

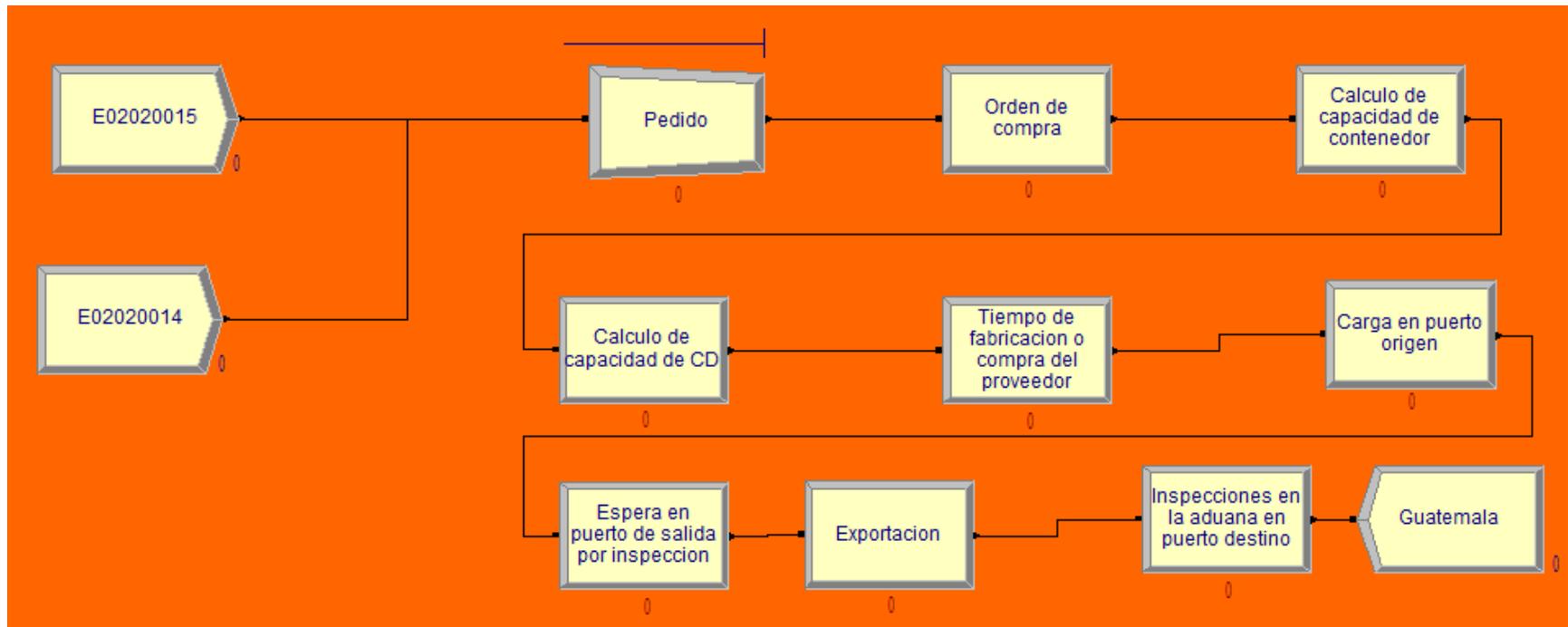
Modelos actuales



Process - Basic Process												
	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics	
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	✓	
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	✓	
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	2	✓	
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	2	✓	
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	2	✓	
6	Inspecciones en la aduana en puerto destino	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	2	✓	
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	2	✓	
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	30.3	33	2.22	✓	
9	Consolidacion con diferentes empresas	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	3	5	10	2	✓	
10	Desconsolidacion en destino	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	5	1	1.5	2	✓	

Figura 18. Modelo de simulación actual de Guatemala cuando consolida con diferentes empresas.

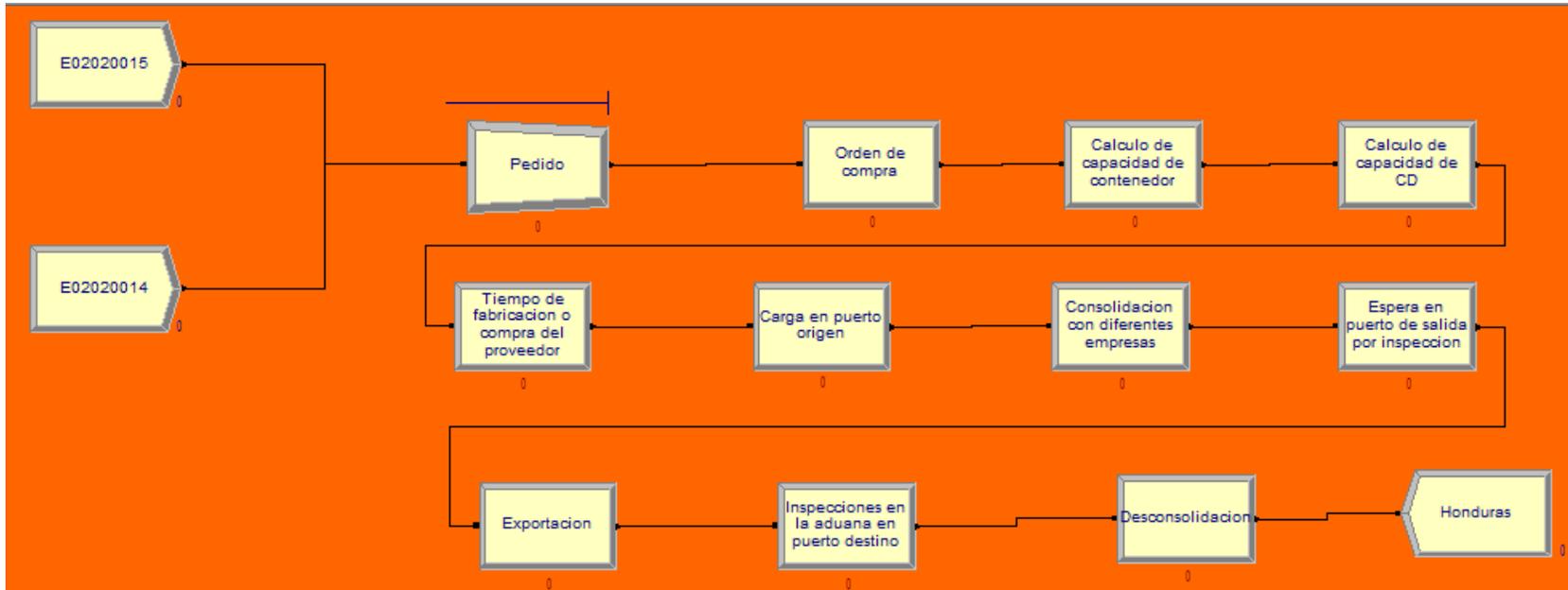
Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.



Process - Basic Process											
	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	2	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	2	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Inspecciones en la aduana en puerto destino	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	2	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	30.3	33	2.22	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 19. Modelo de simulación actual de Guatemala cunado consolida OC.

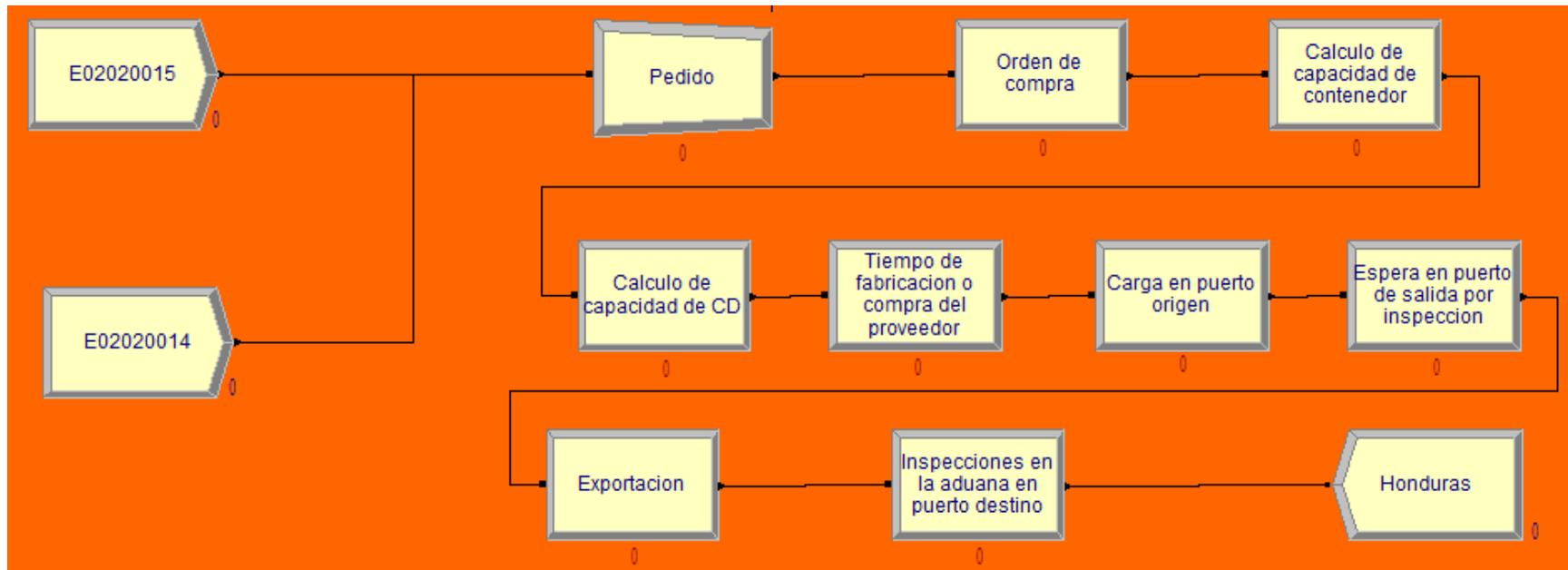
Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.



Process - Basic Process											
	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	2	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	2	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Inspecciones en la aduana en puerto destino	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	2	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	28.7	33	2.8	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Consolidacion con diferentes empresas	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	3	5	10	2	<input checked="" type="checkbox"/>
10	Desconsolidacion	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	5	1	1.5	2	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 20. Modelo de simulación actual de Honduras cuando consolida con diferentes empresas.

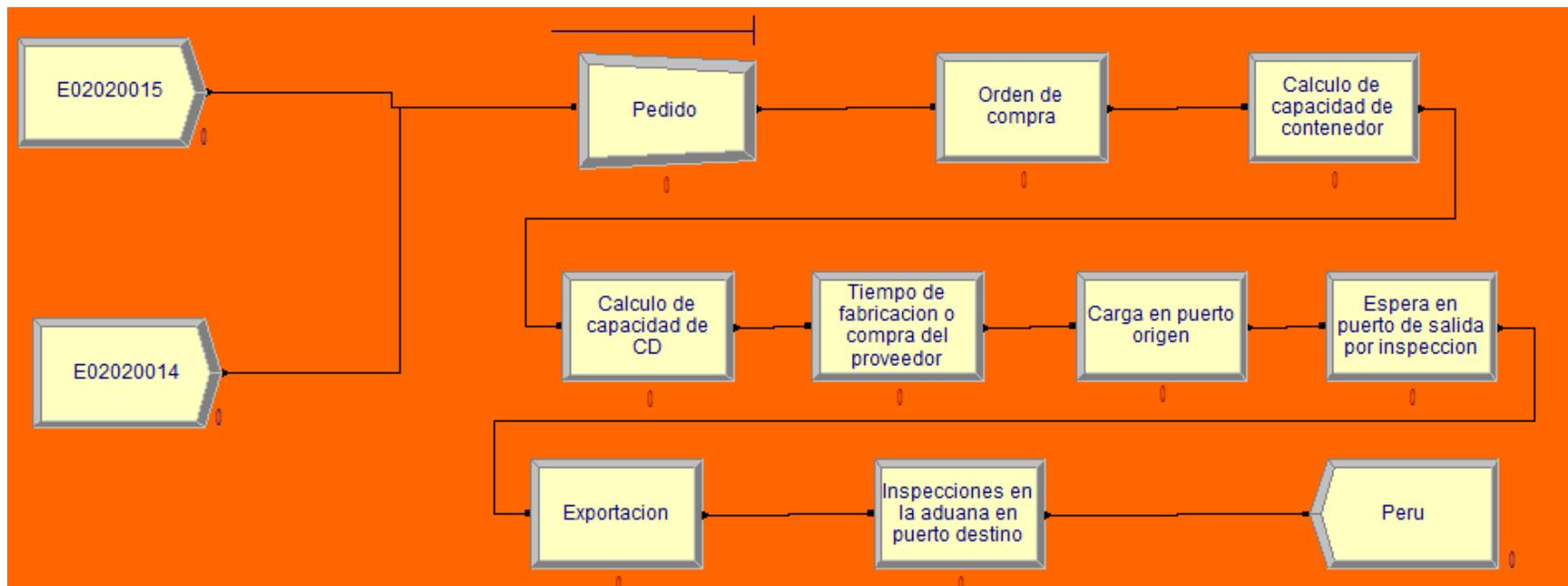
Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.



Process - Basic Process											
	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	✓
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	✓
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	2	✓
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	2	✓
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	2	✓
6	Inspecciones en la aduana en puerto destino	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	2	✓
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	2	✓
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	28.7	33	2.8	✓

Figura 21. Modelo de simulación actual de Honduras cunado consolida OC.

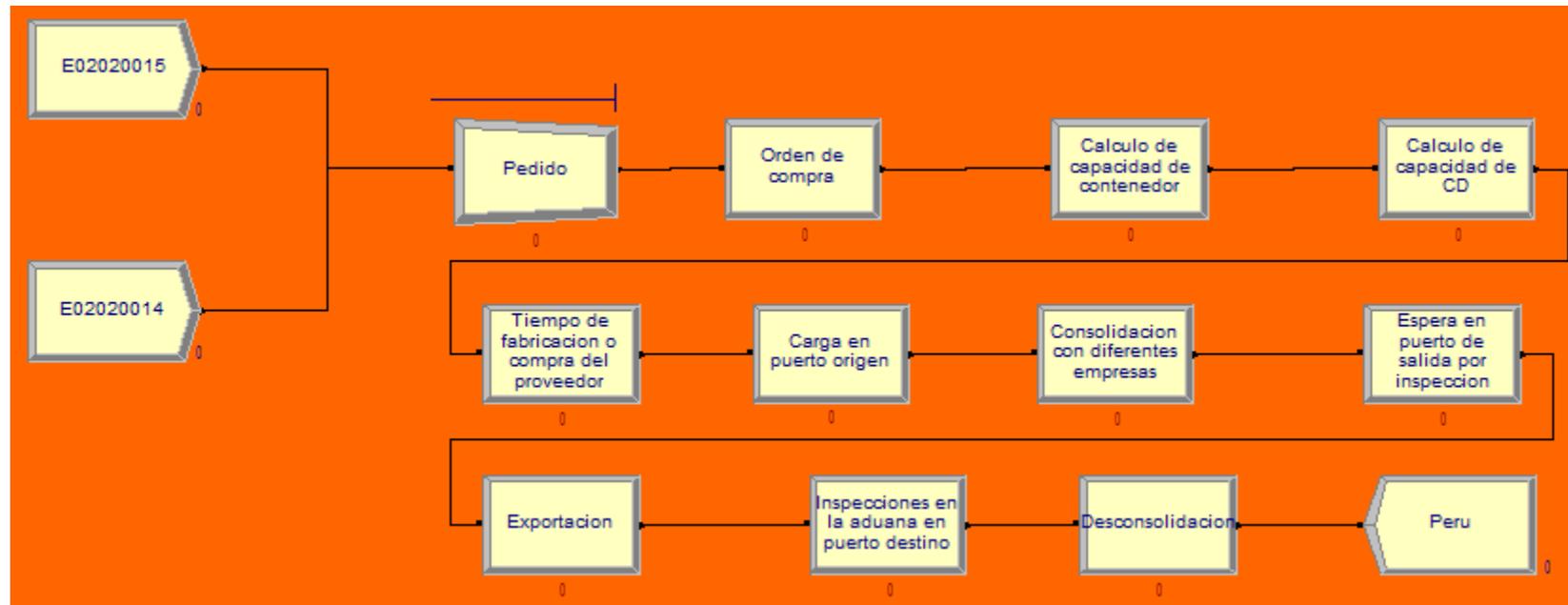
Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.



Process - Basic Process											
	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	2	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	2	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Inspecciones en la aduana en puerto destino	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	2	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	2	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	28.7	33	2.8	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 22. Modelo de simulación actual de Perú cunado consolida OC.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

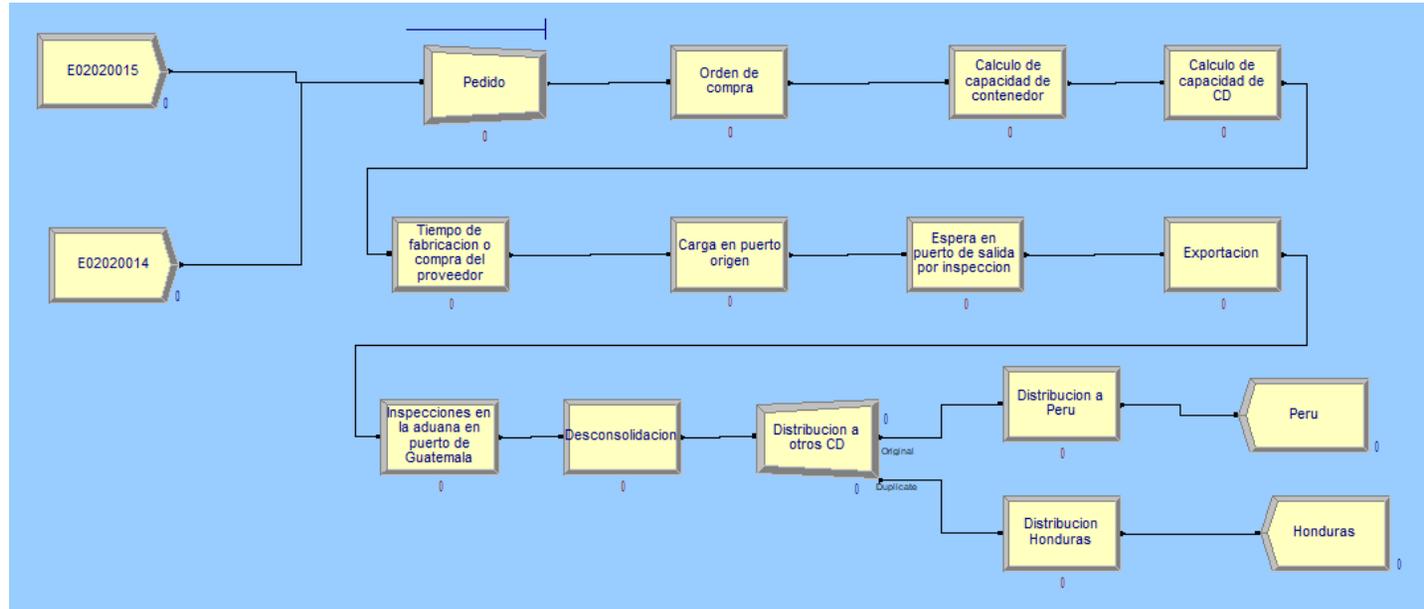


Process - Basic Process											
	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	✓
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	✓
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	2	✓
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	2	✓
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	2	✓
6	Inspecciones en la aduana en puerto destino	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	2	✓
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	2	✓
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	30.3	33	2.22	✓
9	Consolidacion con diferentes empresas	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	3	5	10	2	✓
10	Desconsolidacion	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	5	1	1.5	2	✓

Figura 23. Modelo de simulación actual de Perú cunado consolida de diferentes empresas.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

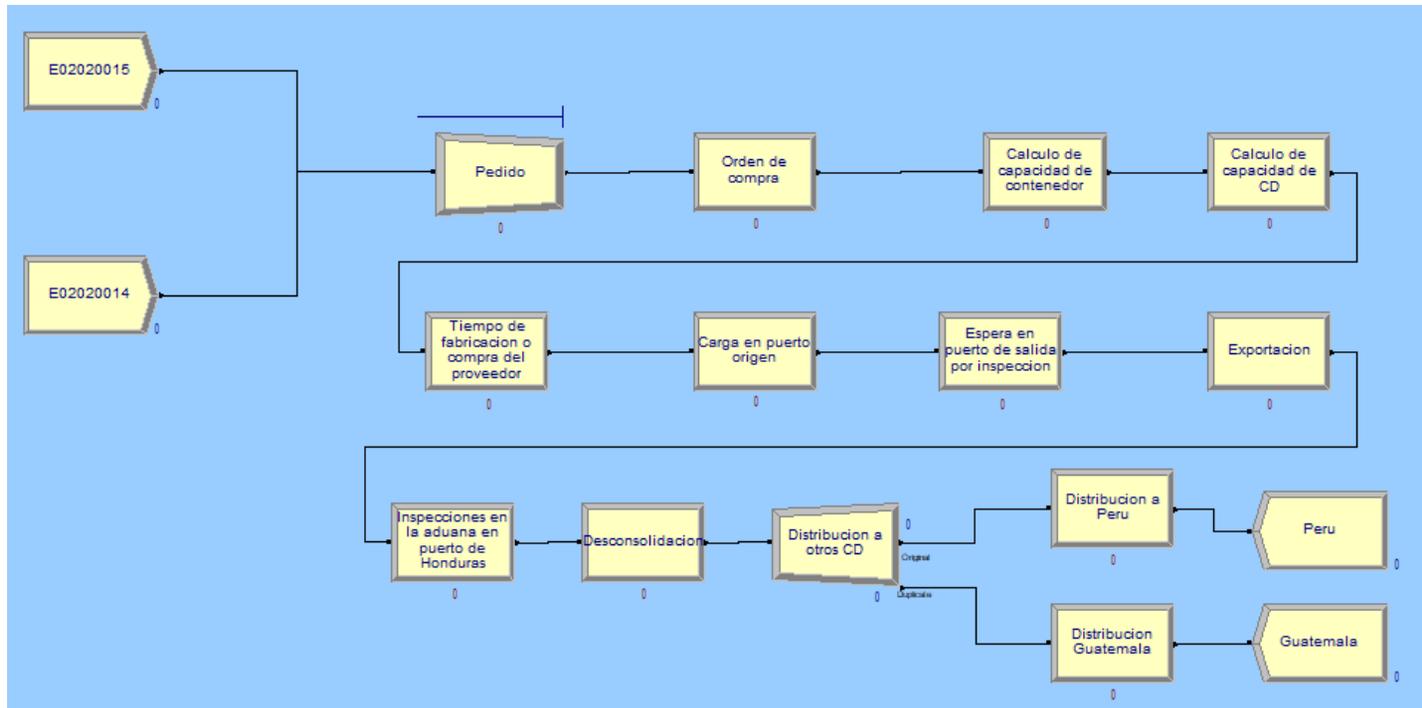
Modelos propuestos



Process - Basic Process											
	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	.5	1	1.5	2	✓
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	.5	1	1.5	2	✓
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	2	✓
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	2	✓
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	2	✓
6	Inspecciones en la aduana en puerto de Guatemala	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	2	✓
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	2	✓
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	29.9	33	2.4	✓
9	Desconsolidacion	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	.5	1	1.5	2	✓
10	Distribucion a Peru	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	10	1	11	2	✓
11	Distribucion Honduras	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	16	1	17	2	✓

Figura 24. Modelo de simulación Propuesto de Guatemala CD centralizado.

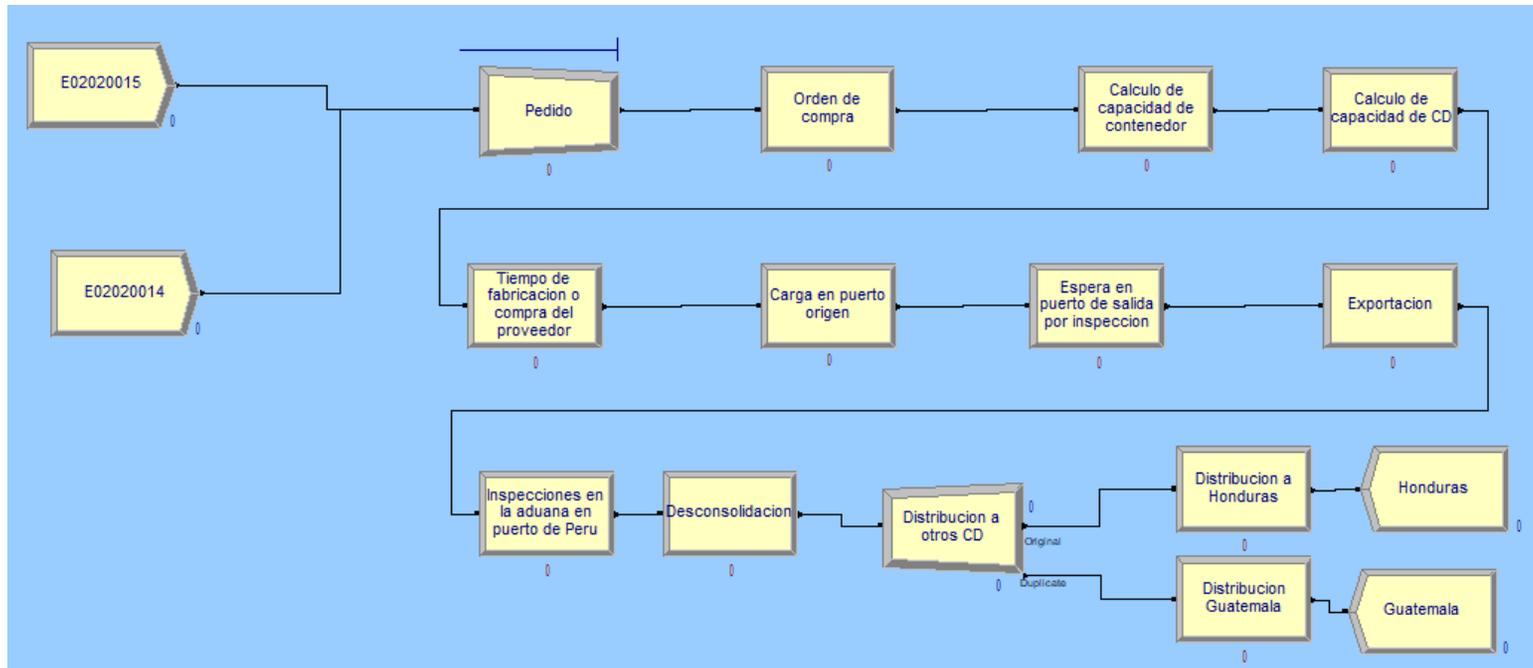
Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.



	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	.2	✓
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	.2	✓
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	.2	✓
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	.2	✓
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	.2	✓
6	Inspecciones en la aduana en puerto de Honduras	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	.2	✓
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	.2	✓
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	29.9	33	2.4	✓
9	Desconsolidacion	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	.5	1	1.5	.2	✓
10	Distribucion a Peru	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	11	1	12	.2	✓
11	Distribucion Guatemala	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	16	1	17	.2	✓

Figura 25. Modelo de simulación Propuesto de Honduras CD centralizado.

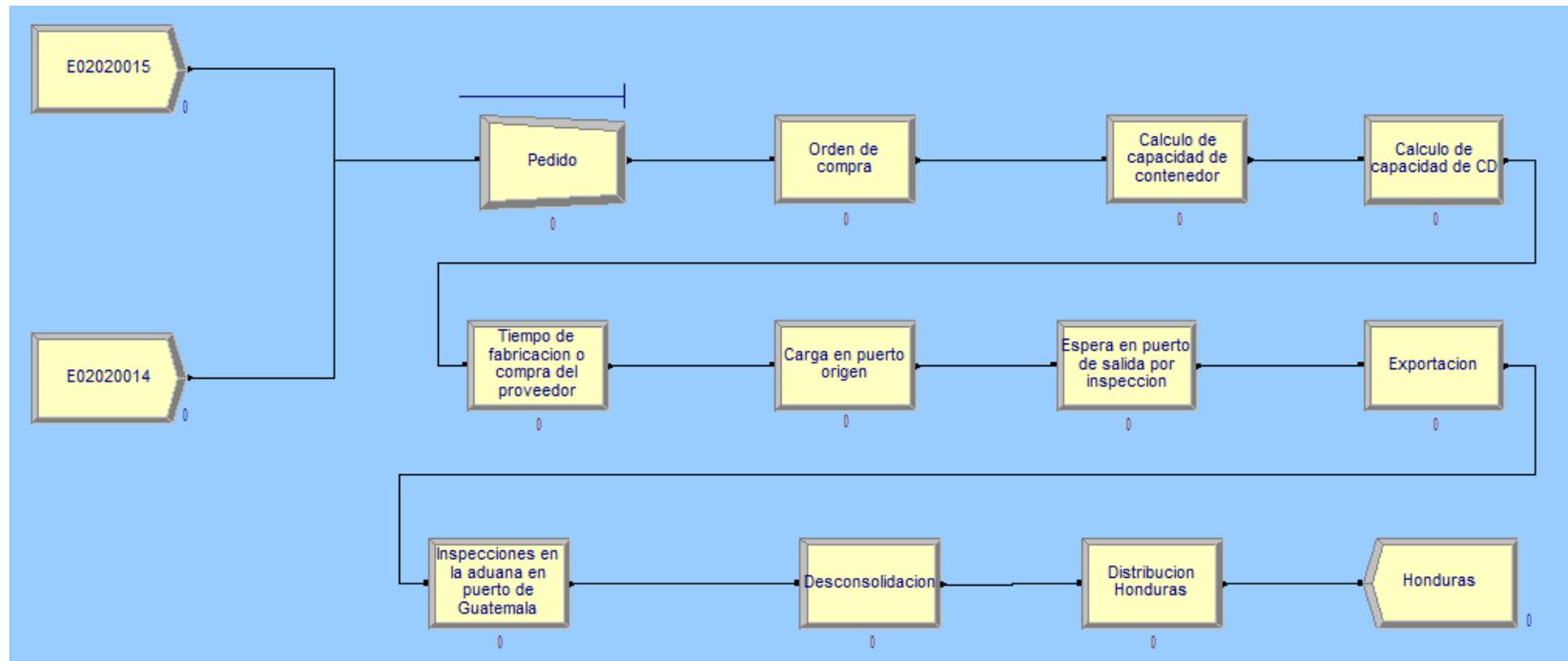
Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.



Process - Basic Process											
	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	✓
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	5	1	1.5	2	✓
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	2	✓
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	2	✓
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	2	✓
6	Inspecciones en la aduana en puerto de Peru	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	2	✓
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	2	✓
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	29.9	33	2.4	✓
9	Desconsolidacion	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	.5	1	1.5	2	✓
10	Distribucion a Honduras	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	17	1	19	2	✓
11	Distribucion Guatemala	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	10	1	11	2	✓

Figura 26. Modelo de simulación Propuesto de Perú CD centralizado.

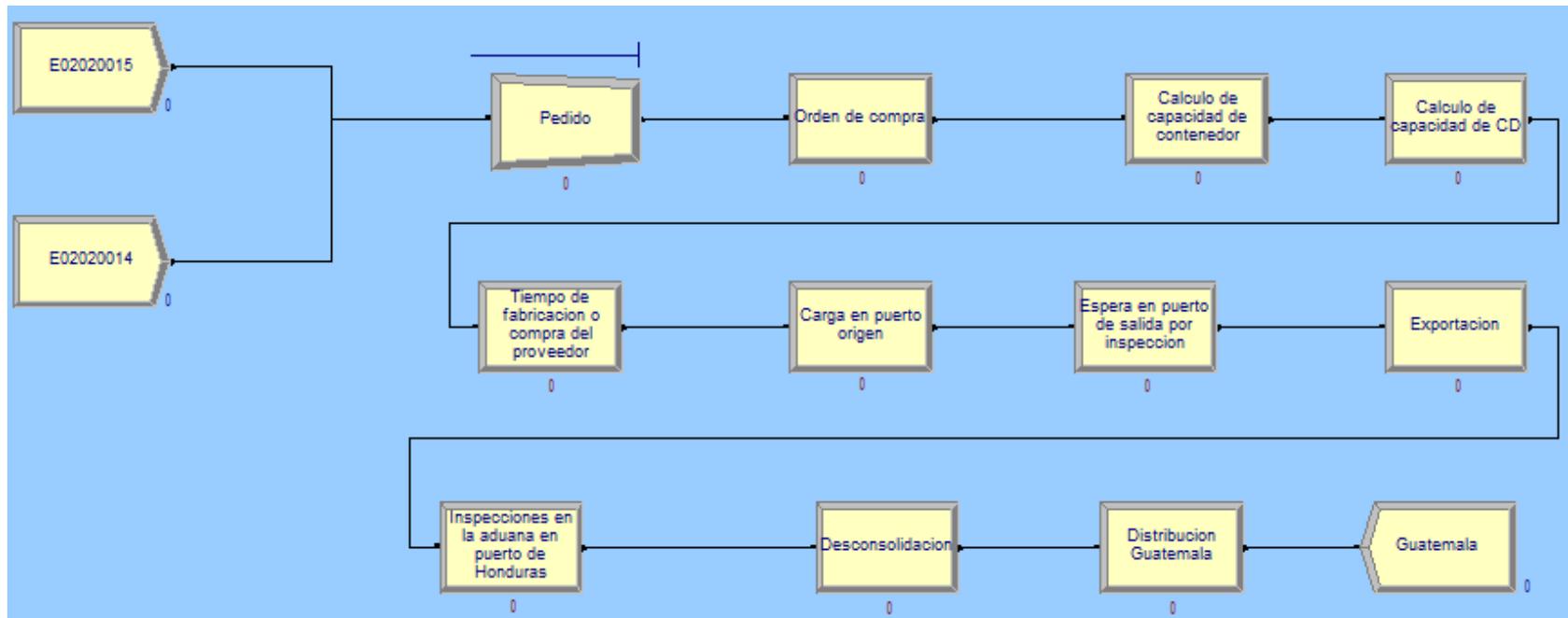
Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.



Process - Basic Process											
	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	.5	1	1.5	.2	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	.5	1	1.5	.2	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	.2	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	.2	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	.2	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Inspecciones en la aduana en puerto de Guatemala	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	.2	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	.2	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	29.9	33	2.4	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Desconsolidacion	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	.5	1	1.5	.2	<input checked="" type="checkbox"/>
10▶	Distribucion Honduras	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	16	1	17	.2	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 27. Modelo de simulación Propuesto de Guatemala CD centralizado suministrando únicamente a Honduras

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.



Process - Basic Process											
	Name	Type	Action	Delay Type	Units	Allocation	Minimum	Value	Maximum	Std Dev	Report Statistics
1	Calculo de capacidad de contenedor	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	.5	1	1.5	.2	✓
2	Calculo de capacidad de CD	Standard	Delay	Constant	Days	Value Added	.5	1	1.5	.2	✓
3	Orden de compra	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	1	1	2	.2	✓
4	Carga en puerto origen	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	2	5	7	.2	✓
5	Espera en puerto de salida por inspeccion	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	2	3	.2	✓
6	Inspecciones en la aduana en puerto de Honduras	Standard	Delay	Uniform	Days	Value Added	1	1	3	.2	✓
7	Tiempo de fabricacion o compra del proveedor	Standard	Delay	Triangular	Days	Value Added	20	23	27	.2	✓
8	Exportacion	Standard	Delay	Normal	Days	Value Added	27	29.9	33	2.4	✓
9	Desconsolidacion	Standard	Delay	Triangular	Hours	Value Added	.5	1	1.5	.2	✓
10▶	Distribucion Guatemala	Standard	Delay	Uniform	Hours	Value Added	16	1	17	.2	✓

Figura 28. Modelo de simulación Propuesto de Honduras CD centralizado suministrando únicamente a Guatemala.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Resultados de los tiempos en sistema de los modelos.

Tabla 6. Resultado de la simulación de los modelos actuales del software Arena.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Replicas	Modelos Actuales					
	Diferentes empresas			Diferentes OC		
	Perú	Guatemala	Honduras	Perú	Guatemala	Honduras
1	66.68	66.56	64.68	59.67	56.9	57.31
2	66.59	66.64	65.36	59.81	57.62	58.09
3	67.22	67.05	65.18	59.68	58.05	58.59
4	67.16	67.22	65.45	59.86	58.04	58.59
5	66.97	66.92	65.16	59.93	58.12	58.69
6	66.97	66.86	65.15	59.81	57.97	58.51
7	67.27	66.86	65.37	59.82	57.91	58.47
8	67.41	66.87	65.5	59.83	57.88	58.44
9	67.47	66.84	65.59	60.01	57.99	58.54
10	67.35	66.73	65.47	60.02	58.1	58.57
11	67.35	66.71	65.56	59.97	58.02	58.57
12	67.22	66.71	65.4	59.92	57.95	58.5
13	67.36	66.77	65.38	59.87	58.01	58.56
14	67.32	66.8	65.32	59.88	58.03	58.58
15	67.31	66.76	65.21	59.88	57.94	58.48
16	67.33	66.8	65.21	59.93	57.9	58.48
17	67.31	66.78	65.22	59.92	57.89	58.42
18	67.34	66.81	65.18	59.9	57.89	58.41
19	67.39	66.76	65.15	59.86	57.9	58.42
20	67.34	66.71	65.16	59.83	57.85	58.37
21	67.22	66.63	65.11	59.78	57.74	58.26
22	67.27	66.67	65.17	59.85	57.8	58.32
23	67.22	66.66	65.18	59.84	57.82	58.35
24	67.22	66.69	65.19	59.87	57.83	58.36
25	67.19	66.73	65.15	59.83	57.75	58.28
26	67.23	66.73	65.16	59.81	57.61	58.19
27	67.23	66.76	65.17	59.82	57.67	58.2
28	67.23	66.8	65.2	59.82	57.66	58.19
29	67.22	66.76	65.19	59.79	57.65	58.18
30	67.19	66.75	65.18	59.83	57.68	58.21

Tabla 7. Resultado de la simulación de los modelos Propuestos del software Arena.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Replicas	Modelos Propuestos				
	Centralización en 1 de 3			Centralización en 1 de 2	
	Perú	Guatemala	Honduras	Guatemala-H	Honduras-G
1	42.39	35.05	35.55	58.88	58.88
2	43.36	35	35.5	59.29	59.29
3	43.41	34.86	35.36	59.47	59.47
4	43.7	34.96	35.46		59.41
5	43.78	35.02	35.52	59.57	59.57
6	44	35.15	35.65	59.67	59.67
7	43.79	35.22	35.72	59.79	59.79
8	43.87	35.2	35.7	59.91	59.91
9	43.94	35.22	35.72	59.95	59.95
10	43.97	35.21	35.71	60.03	60
11	44	35.22	35.72	60.26	60.26
12	44.06	35.41	35.73	60.25	60.25
13	44.11	35.26	35.76	60.22	60.22
14	44.15	35.27	35.77	60.27	60.27
15	44.16	35.3	35.8	60.22	60.22
16	44.2	35.32	35.82	60.21	60.21
17	44.26	35.37	35.87	60.25	60.25
18	44.24	35.38	35.88	60.24	60.24
19	44.27	35.41	35.91	60.29	60.29
20	44.27	35.43	35.93	60.26	60.26
21	44.27	35.39	35.89	60.19	60.19
22	44.29	35.4	35.9	60.22	60.22
23	44.19	35.37	35.87	60.16	60.16
24	44.21	35.38	35.88	60.27	60.27
25	44.2	35.41	35.91	60.23	60.23
26	44.21	35.41	35.91	60.25	60.25
27	44.22	35.41	35.91	60.31	60.31
28	44.15	35.4	35.9	60.26	60.26
29	44.14	35.37	35.87	60.23	60.23
30	44.15	35.39	35.89	60.21	60.21

Tabla 8. Resultados del sistema de simulación del software Arena.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Sistema Actual		Tiempo Promedio		
		P	G	H
1	Proceso de suministro de refacciones a centros de distribución de diferentes OC	59.845	59.845	58.42
2	Proceso de suministro de refacciones a centros de distribución de diferentes empresas.	67.23	66.76	6.519
Sistemas Propuestos				
1	Modelo Propuesto Centralizado-Guatemala	35.344		
2	Modelo Propuesto Centralizado-Perú	44.15		
3	Modelo Propuesto Centralizado-Honduras	35,81		
4	Modelo Propuesto Centralizado-Guatemala para abastecer Honduras.	60.22		
5	Modelo Propuesto Centralizado- Honduras para abastecer Guatemala.	60.21		

Para poder concluir correctamente se realizó un análisis de pruebas de hipótesis con Anova como se verá en el siguiente apartado.

4.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS CON PRUEBAS DE HIPÓTESIS CON ANOVA.

Para poder elegir un modelo propuesto o conservar un modelo actual de los simulados anteriormente se requiere la prueba de hipótesis Anova, donde se pruebe que las medias son iguales o que existen diferencias, lo que quiere decir que habría o no habría diferencia de los modelos propuestos con respecto a los actuales.

En primer lugar se plantea la hipótesis nula, la hipótesis alternativa y su nivel de significancia.

Planteamiento de la hipótesis nula y alternativa:

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna No todas las medias son iguales
Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

En el software estadístico Minitab se ingresan los resultados de la simulación que se muestran en la tabla 6 y 7, se obtuvo de resultado la tabla 9, con el análisis de la varianza.

Tabla 9 Análisis de varianza

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C1	10	40919.0	4091.90	66774.56	0.000
Error	319	19.5	0.06		
Total	329	40938.6			

Conclusión Debido a que el valor P tiene el valor de 0.000 y su F (10,319,0.05) =1.91 con respecto al valor crítico se concluye que se rechaza la H0 y no se rechaza la H1.

La metodología anterior solo demostró que hay diferencias en las medias, pero es un método inconcluso para determinar el modelo con el menor tiempo en sistema, esto quiere decir que se requiere otro método para identificar el mejor modelo, como el Tukey que veremos en el siguiente apartado.

COMPARACIONES EN PAREJAS DE TUKEY

Para poder identificar las medias diferentes se requiere la prueba Tukey, ya que esta prueba permite la comparación de intervalos de confianza del $100(1-\alpha)\%$ simultáneos para todas las comparaciones por pares. El método consiste en encontrar la diferencia significativa en la media i y j ($i \neq j$).

En esta prueba el Software estadístico Minitab es de gran utilidad para realizar la prueba Tukey, al igual que en el método anterior se utilizan los resultados de la simulación de la tabla 6 y 7 y el resultado es el que se muestra en la tabla 10, el software los agrupa por medias iguales, también arroja la comparación entre cada uno de los 11 grupos que se pueden ver en el anexo 1.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Tabla 10. Agrupación Tukey desde Minitab.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

C1	N	Media	Agrupación
1	30	67.2193	A
2	30	66.7780	B
3	30	65.2467	C
10	30	60.0257	D
11	30	60.0247	D
4	30	59.8547	D
6	30	58.3710	E
5	30	57.8390	F
7	30	43.9987	G
9	30	35.7670	H
8	30	35.2730	I

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Basándonos en los resultados se concluye que la agrupación “I” de la tabla 10 que pertenece al modelo que indica Centralización en Guatemala tiene la mejor media de los datos arrojados, resultado de la simulación en el Software Arena.

ENFOQUE DE BONFERRONI PARA SELECCIONAR EL MEJOR.

Se han desarrollado muchos procedimientos estadísticos diferentes que pueden utilizarse para analizar datos de simulación y establecer inferencias estadísticamente sólidas con respecto a los parámetros. Estos procedimientos pueden clasificarse como procedimientos de tamaño de muestra fija o de muestra secuencial. (Banks, Carson II, Nelson , & Nicol, 2005)

Supongamos que hay diseños de sistemas K y el diseño i th tiene un rendimiento esperado θ_i . A un nivel bruto, estamos interesados en qué sistema es el mejor, donde "mejor" se define como teniendo el máximo rendimiento espera. Si el diseño del sistema i es el mejor, entonces $\theta_i - \max_{j \neq i} \theta_j$, θ_i es igual a la diferencia en el rendimiento entre el mejor y el segundo mejor. Si el diseño del sistema i no es el mejor, entonces $\theta_i - \max_{j \neq i} \theta_j$, θ_i es igual a la diferencia entre el sistema i y el mejor.

El procedimiento de selección que describimos en esta sección se centra en los parámetros $\theta_i - \max_{j \neq i} \theta_j$, θ_i ; Para $i = 1, 2, \dots, K$. Como regla general, cuanto menor sea la verdadera diferencia $\theta_i - \max_{j \neq i} \theta_j$, θ_i , y cuanto más seguro es que queremos que encontremos el mejor sistema, más repeticiones son necesarias para lograr nuestro objetivo. También especificamos una zona de indiferencia i^* la cual quiere decir que si la mejor media y la segunda mejor media difieren por más de i^* , seleccionamos la mejor con probabilidad P . (Banks, Carson II, Nelson , & Nicol, 2005)

Utilizando el enfoque Beferroni, se logra identificar que el mejor sistema actual es el de consolidación con diferentes OC en el CD de Perú debido a que tiene la menor varianza como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados de los modelos de simulación actual.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

	Modelos actuales					
Tipo de consolidación	Diferentes empresas			Diferentes OC		
País	Perú	Guatemala	Honduras	Perú	Guatemala	Honduras
Promedio	67.2	66.8	65.2	59.9	57.8	58.4
Varianza	0.0357	0.0154	0.0293	0.0058	0.0512	0.0617
Θ						

Como lo menciona la regla general del libro (Banks, Carson II, Nelson , & Nicol, 2005), “cuanto menor sea la verdadera diferencia $\theta_i - \max_j 1, \theta_i$, encontremos el mejor sistema”, como se muestra en la última fila de la tabla 12, los resultados de esta diferencia, en la cual también se aprecia que el mejor sistema es la centralización en Honduras con una diferencia de 0.0176.

Tabla 12. Resultados de los modelos de simulación propuestos.

Fuente: Reproducción de base de datos con permiso de la empresa.

	Sistemas propuestos				
	Centralización en 1 de 3			Centralización en 1 de 2	
Centralización	Perú	Guatemala	Honduras	Guatemala-H	Honduras-G
Promedio	44.00	35.27	35.77	60.05	60.02
Varianza	0.1454	0.0241	0.0235	0.1207	0.1298
Θ-maxj-1	-0.1396	-0.0182	-0.0176	-0.1148	-0.1239

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

En lo que sigue se analizan los resultados y conclusiones alcanzados respecto a los objetivos e hipótesis general expuestos en el capítulo 2.

OBJETIVO GENERAL:

- Realizar una propuesta de rediseño de la cadena de suministro para la empresa que permita garantizar la reducción del costo del inventario y tiempos del suministro de refacciones con la utilización de los mínimos recursos.

En este objetivo requería la revisión de la cadena de suministro de la empresa y en la cual se detectó múltiples efectos negativos de tener una mala planeación del suministro de los centros de distribución, teniendo como efectos principales los altos costos de inventario y tiempos del suministro.

La solución propuesta se realiza en 4 etapas que cumplen con los objetivos específicos que se muestran a continuación

- Realizar el pronóstico del 20 por ciento de las refacciones que hacen el 80 por ciento de la venta.
- Identificar el menor costo entre la centralización y descentralización.
- Plantear escenarios alternativos al del suministro actual.
- Evaluar los tiempos de suministro de los escenarios actuales a los propuestos.
- Reducción de los tiempos de suministro de refacciones.
- Incrementar la disponibilidad de refacciones.

En la primera etapa se realizó un pronóstico de los primeros 50 elementos del 20 por ciento de las refacciones que hacen el 80 por ciento de la venta, se evaluaron diferentes métodos y se concluyó que el método Winter multiplicativo era el que tenía MAPE (error porcentual absoluto) con ayuda del software estadístico Minitab.

En la segunda etapa del método se realizó un análisis de riesgo de centralización para la demanda actual y el pronóstico para identificar que resultaba más conveniente la centralización o

descentralización y se concluyó que los centros de distribución tienen menor stock de seguridad y existencias regulares analizando.

Debido a que en la etapa anterior se concluyó que según el análisis de riesgos era más conveniente la centralización, por lo que en la etapa 3 se propusieron 5 escenarios los cuales fueron simulados en el software Arena, los cuales fueron comparados con los 6 escenarios actuales. La simulación corrió durante un año, se replicaron 30 veces para los 11 modelos, considerando como característica más importante el tiempo en sistema.

El analizar los resultados de los modelos en arena dieron origen a la etapa 4 en el cual se demostró estadísticamente que había diferencia de medias entre los modelos propuestos y modelos actuales mediante una prueba de hipótesis ANOVA con el apoyo del software estadístico Minitab, se utilizó como datos de entrada el resultado de la simulación de los 11 modelos de la tabla 6 y 7, se planteó una hipótesis nula “todas las medias son iguales” y una alternativa “no todas las medias son iguales” y se realizó experimentos con un solo factor, con una significancia de 0.05 y se concluyó que no todas las medias fueron iguales por lo tanto se rechazó la hipótesis nula y no se rechaza la alternativa, dando lugar a la prueba de Tukey para identificar la mejor media, tenido como resultado que la centralización en Guatemala con el menor tiempo con una media de 35.2 días. En esta etapa también se realizó enfoque de Bonferroni para seleccionar el mejor, en cual se compararon las varianzas con el valor esperado y se eligió la que tenía menor varianza concluyendo que el modelo con mejor varianza era el que tiene centralización en Honduras, y el segundo mejor modelo en con la centralización Guatemala. Con lo anterior se rechaza la hipótesis nula planteada en la etapa 3 en la simulación concluyendo que los tiempos de los escenarios actuales no son menores a los propuestos.

Con esto también se concluye que no se rechaza la hipótesis general de la investigación que dice “la reconstrucción de la red de los centros de distribución disminuirá los niveles de inventarios, reducirá tiempos de transportación, almacenes y tiempos de espera los pedidos.”

Conclusiones de preguntas de investigación

En lo siguiente se responden a las preguntas de investigación

1. ¿El proceso de pronóstico es adecuado para apoyar el proceso de toma de decisiones de la empresa?

El proceso de pronóstico actual no es adecuado para apoyar el proceso de toma de decisiones de la empresa, para elegir el mejor métodos de pronóstico se realiza un análisis de las series de tiempo de la demanda.

2. ¿Cómo debe realizarse el pronóstico para fortalecer el proceso de toma de decisiones?
El método del pronóstico se elige mediante el análisis de los datos, reconociendo que característica tiene la serie de datos.
3. Según el método análisis de riesgo de centralización ¿Qué porcentaje reduce las existencias regulares actuales con respecto a la propuesta de centralización?

	Con datos históricos		Con datos del pronostico	
Descentralizado	RS	SS	RS	SS
Centralizado	39%	13%	42%	34%

4. Según la simulación ¿Qué porcentaje de tiempo reduciría si los proveedores suministraran a un CD y este se encargara del suministro de los demás CD en Centro y Sudamérica?

Se redujo un 52 % del tiempo actual si se centraliza en Guatemala como sugirió la prueba Tukey y 55% del tiempo actual si se centraliza en Honduras como sugirió el enfoque de Bonferroni.

5. ¿Qué características tiene que tener el país de recepción de las refacciones?
Una de las principales características necesarias es la infraestructura para poder recibir los insumos necesarios para abastecer los 3 CD.

Recurso humano para las maniobras y recurso financiero para realizar cambios en la infraestructura.

También se sugiere que el país de recepción tenga el tratado de libre comercio con los otros 2 para poder tener mejores ventajas aduaneras.

6. ¿Existe un solo escenario o varios mejores al actual?

Los 5 escenarios propuestos y evaluados con el software Arena son significativamente mejores que los actuales.

Dentro de las recomendaciones del trabajo terminal de grado se hacen las siguientes:

Se le recomienda a la empresa que mejore su método de pronóstico, y se sugiere que coincidiera fuertemente el método de Winter multiplicativo.

Se le recomienda a la empresa que mejore su método de recolección de datos y almacenarla en su base de datos

Se le sugiere a la empresa que reconsidere la evaluación de costos de centralización de los centros de distribución en Guatemala y Honduras.

Se le sugiere a la empresa utilizar software de simulación como Arena para evaluar los escenarios con los resultados de una evaluación de costos.

Dentro de un proyecto tan ambicioso como lo fu este, siempre se desea que haya una mejora continua del mismo; por lo que se recomienda a futuros estudiantes que tengan interés en el proyecto que realicen una evaluación de costo beneficio de la propuesta aquí sugerida, ya que la parte financiera fue una limitante en este trabajo terminal de grado.

BIBLIOGRAFÍA

- (INEGI), I. N. (10 de 11 de 2016). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)*. Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/>
- Axsater , S. (2007). *Inventory Control*. Springer Science & Business Media,.
- Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de Cadena de Suministro*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
- Banks, J., Carson II, J., Nelson , B., & Nicol, D. (2005). *Discrete-Event System Simulation*. PEARSON.
- Bektas, T., & Crainic , T. (2007). *A brief overview of intermodal transportation*.
- Bowerman, B. L., O'Connell, R. T., & Koehler, A. B. (2009). *Pronósticos, series de tiempo y regresión*. CENGAGE Learning.
- Catalá, L., Moreno, M., Blanco, A., & Bandoni, J. (2016). A bi-objective optimization model for tactical planning in the pome fruit industry supply chain . *journal homepage*, 14.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2013). *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*. México: Pearson Educación.
- Contreras Juárez, A., Zuñiga, C. A., Martínez Flores, J. L., & Sánchez Partida, D. (2016). Análisis de series de tiempo en el pronóstico de la demanda. *Estudios generales*, 387–396.
- Crainic, T., & Florian, M. (2008). *National planning models and instruments*.
- Edward, S. A., David, P. F., & Rein, P. (1998). *Inventory management and production planning and scheduling* (3 ed.). John Wiley & Sons.
- Fisher, M. (1997). What is the right supply Chain for you product? *The Harvard Business Review*.
- Gutiérrez Pulido, H. (2010). *Calidad Total y Productividad*. México, D.F.: Mcgraw-hill/ Interamericana editores, s.a. de c.v.
- KPMG. (7 de Enero de 2016). *Conectividad y digitalización, principales tendencias de industrial automotriz hacia 2025: KPGM*. Obtenido de KPGM: <https://home.kpmg.com>
- Markets, A. R. (Enero de 2016). *Agencia Research and Markets*. Obtenido de <http://www.researchandmarkets.com/>
- Munoz Castataneda, A. (2014). Metodología para el dimensionamiento de almacenes basado en la estimación de la demanda. *Universidad Milinar Nueva Granada*, 50-62. Recuperado el 2017
- Oeser, G. (2010). *Methods of Risk Pooling in Business Logistics and Their Applications*. Brandeburgo, Alemania .
- Pechuan, I. C. (2017). *CÁLCULO DEL IMPACTO DE LA CENTRALIZACIÓN Y LA DESCENTRALIZACIÓN DE INVENTARIOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO MEDIANTE SIMULACIÓN. APLICACIÓN A UNA EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN DE MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN*. Valencia España.

- Ravindran, A., & Warsing, Jr., D. P. (2016). *Supply Chain Engineering: Models and Applications*. CRC Pre.
- Stadtler, H., & Kilger, C. (2004). *Supply Chain Management and Advanced Planning*. Heidelberg: Springer Berlin.
- Trent, R., & Monczka, R. (2005). *Achieving excellence in global sourcing*. MIT Sloan Management Review 47 (1): 24-32.
- Velázquez, J., Franco, C., & García, H. (2009). Un modelo no lineal para la predicción de la demanda mensual de electricidad en Colombia. *Estudios Generales*, 37-54.
- Vicencio Miranda, A. (2012). La industria automotriz en México. *Contaduría y Administración*, 212.

ANEXO 1 Agrupación Tukey.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	EE de diferencia	IC de 95%	Valor T	Valor p ajustado
2 - 1	-0.4413	0.0639	(-0.6470, -0.2357)	-6.90	0.000
3 - 1	-1.9727	0.0639	(-2.1783, -1.7670)	-30.86	0.000
4 - 1	-7.3647	0.0639	(-7.5703, -7.1590)	-115.22	0.000
5 - 1	-9.3803	0.0639	(-9.5860, -9.1747)	-146.76	0.000
6 - 1	-8.8483	0.0639	(-9.0540, -8.6427)	-138.44	0.000
7 - 1	-23.2207	0.0639	(-23.4263, -23.0150)	-363.30	0.000
8 - 1	-31.9463	0.0639	(-32.1520, -31.7407)	-499.82	0.000
9 - 1	-31.4523	0.0639	(-31.6580, -31.2467)	-492.09	0.000
10 - 1	-7.1937	0.0639	(-7.3993, -6.9880)	-112.55	0.000
11 - 1	-7.1947	0.0639	(-7.4003, -6.9890)	-112.56	0.000
3 - 2	-1.5313	0.0639	(-1.7370, -1.3257)	-23.96	0.000
4 - 2	-6.9233	0.0639	(-7.1290, -6.7177)	-108.32	0.000
5 - 2	-8.9390	0.0639	(-9.1446, -8.7334)	-139.85	0.000
6 - 2	-8.4070	0.0639	(-8.6126, -8.2014)	-131.53	0.000
7 - 2	-22.7793	0.0639	(-22.9850, -22.5737)	-356.39	0.000
8 - 2	-31.5050	0.0639	(-31.7106, -31.2994)	-492.91	0.000
9 - 2	-31.0110	0.0639	(-31.2166, -30.8054)	-485.18	0.000
10 - 2	-6.7523	0.0639	(-6.9580, -6.5467)	-105.64	0.000
11 - 2	-6.7533	0.0639	(-6.9590, -6.5477)	-105.66	0.000
4 - 3	-5.3920	0.0639	(-5.5976, -5.1864)	-84.36	0.000
5 - 3	-7.4077	0.0639	(-7.6133, -7.2020)	-115.90	0.000
6 - 3	-6.8757	0.0639	(-7.0813, -6.6700)	-107.57	0.000
7 - 3	-21.2480	0.0639	(-21.4536, -21.0424)	-332.43	0.000
8 - 3	-29.9737	0.0639	(-30.1793, -29.7680)	-468.95	0.000
9 - 3	-29.4797	0.0639	(-29.6853, -29.2740)	-461.22	0.000
10 - 3	-5.2210	0.0639	(-5.4266, -5.0154)	-81.68	0.000
11 - 3	-5.2220	0.0639	(-5.4276, -5.0164)	-81.70	0.000

5 - 4	-2.0157	0.0639	(-2.2213, -1.8100)	-31.54	0.000
6 - 4	-1.4837	0.0639	(-1.6893, -1.2780)	-23.21	0.000
7 - 4	-15.8560	0.0639	(-16.0616, -15.6504)	-248.07	0.000
8 - 4	-24.5817	0.0639	(-24.7873, -24.3760)	-384.59	0.000
9 - 4	-24.0877	0.0639	(-24.2933, -23.8820)	-376.86	0.000
10 - 4	0.1710	0.0639	(-0.0346, 0.3766)	2.68	0.211
11 - 4	0.1700	0.0639	(-0.0356, 0.3756)	2.66	0.218
6 - 5	0.5320	0.0639	(0.3264, 0.7376)	8.32	0.000
7 - 5	-13.8403	0.0639	(-14.0460, -13.6347)	-216.54	0.000
8 - 5	-22.5660	0.0639	(-22.7716, -22.3604)	-353.06	0.000
9 - 5	-22.0720	0.0639	(-22.2776, -21.8664)	-345.33	0.000
10 - 5	2.1867	0.0639	(1.9810, 2.3923)	34.21	0.000
11 - 5	2.1857	0.0639	(1.9800, 2.3913)	34.20	0.000
7 - 6	-14.3723	0.0639	(-14.5780, -14.1667)	-224.86	0.000
8 - 6	-23.0980	0.0639	(-23.3036, -22.8924)	-361.38	0.000
9 - 6	-22.6040	0.0639	(-22.8096, -22.3984)	-353.65	0.000
10 - 6	1.6547	0.0639	(1.4490, 1.8603)	25.89	0.000
11 - 6	1.6537	0.0639	(1.4480, 1.8593)	25.87	0.000
8 - 7	-8.7257	0.0639	(-8.9313, -8.5200)	-136.52	0.000
9 - 7	-8.2317	0.0639	(-8.4373, -8.0260)	-128.79	0.000
10 - 7	16.0270	0.0639	(15.8214, 16.2326)	250.75	0.000
11 - 7	16.0260	0.0639	(15.8204, 16.2316)	250.73	0.000
9 - 8	0.4940	0.0639	(0.2884, 0.6996)	7.73	0.000
10 - 8	24.7527	0.0639	(24.5470, 24.9583)	387.27	0.000
11 - 8	24.7517	0.0639	(24.5460, 24.9573)	387.25	0.000
10 - 9	24.2587	0.0639	(24.0530, 24.4643)	379.54	0.000
11 - 9	24.2577	0.0639	(24.0520, 24.4633)	379.52	0.000
11 - 10	-0.0010	0.0639	(-0.2066, 0.2046)	-0.02	1.000

Nivel de confianza individual = 99.86%

ANEXO 2 Métodos de pronóstico por series de tiempo.

Una serie de tiempo es una sucesión cronológica de una variable en particular

Las partes de una serie de tiempo son:

1. Tendencia
2. Ciclo
3. Variaciones estacionales
4. Fluctuaciones irregulares (aleatorio)

La tendencia se refiere al movimiento hacia arriba o hacia abajo que a la serie de tiempo con respecto a un período de tiempo. Esta tendencia refleja el crecimiento o declinación de larga duración en las series de tiempo. (Bowerman, O'Connell, & Koehler, 2009) Por ejemplo la figura #29 muestra como los datos tienen una tendencia de crecimiento.

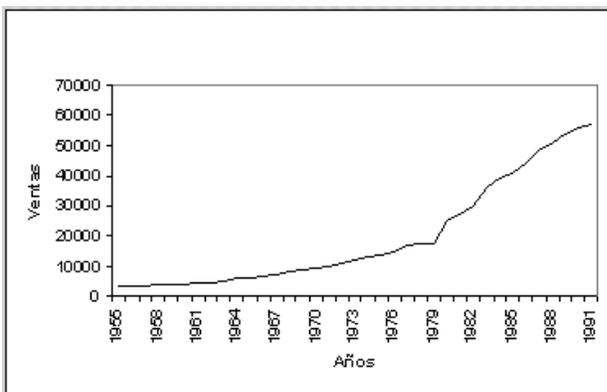


Figura 29: Gráfica de una serie de datos con tendencia

El ciclo se refiere a los movimientos hacia arriba y hacia abajo alrededor de los niveles de tendencia. Estas fluctuaciones tienen una duración desde 2 a 10 años o más medido de máximo a máximo o de mínimo a mínimo. (Bowerman, O'Connell, & Koehler, 2009).

En la figura # 30 se representa una serie de tiempo con una ciclicidad de 2 años de mínimo a mínimo y de 4 años de máximo a máximo.

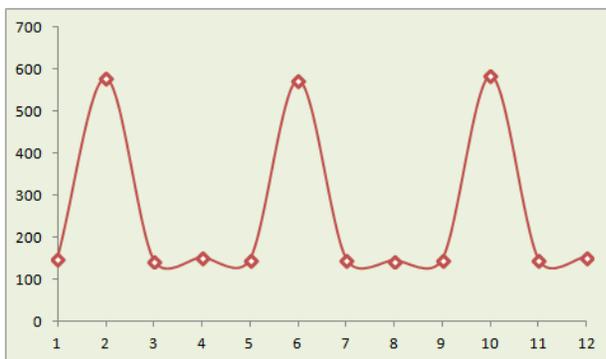


Figura 30: Gráfica de una serie de datos con ciclicidad.

Las variaciones estacionales son patrones periódicos en una serie de tiempo que se completa dentro de un año civil que se repite cada año. (Bowerman, O'Connell, & Koehler, 2009) Ver un ejemplo de variaciones estacionales en la figura # 31.

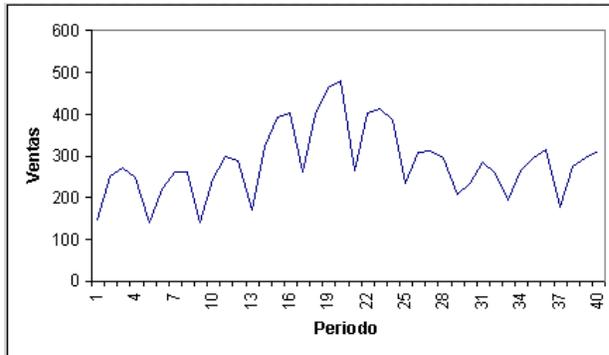


Figura 31: Gráfica de una serie de datos con estacionalidad.

También dicen que las fluctuaciones irregulares son movimientos erráticos de series de tiempo que siguen un patrón indefinido o irregular. Dichos movimientos representan lo que “resta” en una serie de tiempo después que ha explicado la tendencia, el ciclo y las variaciones estacionales. Muchas fluctuaciones son ocasionadas por hechos “inusuales” que no se pueden predecir, a saber, sismos, accidentes, huracanes, huelgas y otros, como se muestra en la figura # 32. (Bowerman, O'Connell, & Koehler, 2009)

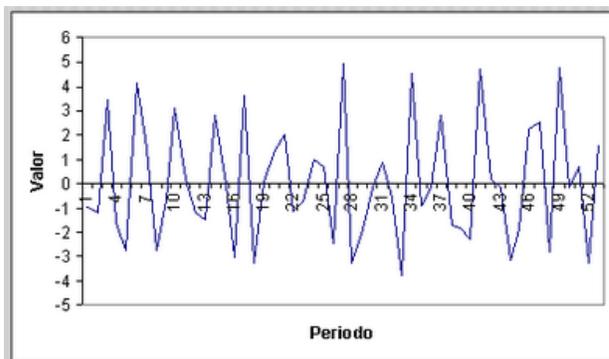


Figura 32: Gráfica de una serie de datos con aleatoriedad.

Es necesario señalar que los 4 componentes de las series de tiempo que se han tratado anteriormente, no siempre se presentan solas; se puede presentar en combinación o bien pueden presentarse todas juntas. Por esta razón, no existe un solo modelo para elaborar pronósticos que se digan que es el mejor, un modelo de pronóstico que se puede utilizar para predecir series de tiempo caracterizada solo por la tendencia no es apropiado para la predicción de series de tiempo caracterizadas por una combinación de tendencia y variaciones estacionales. Por consiguiente uno de los problemas más importantes que se tiene que resolver en los pronósticos es el de tratar de acoplar el modelo de pronóstico apropiada al patrón de datos de la serie de tiempo disponible. Una vez que se seleccionó el modelo apropiado, la metodología indica estimar los componentes de la serie de tiempo (parámetros del modelo). Luego se utilizan las estimaciones para determinar un pronóstico.

En la actualidad existen muchos métodos para pronósticos que se pueden usar para predecir el futuro. Estos métodos se dividen en dos tipos básicos: Métodos cualitativos y cuantitativos.

Dentro de los métodos cuantitativos tenemos el método de descomposición multiplicativa y aditiva, así como suavización exponencial simple, método Holt de la suavización exponencial corregida de la tendencia, método aditivo de Holt-Winters y método multiplicativo de Holt-Winters.

Las metodologías de pronósticos son muchas más a las mencionadas sin embargo para este trabajo y características de las series de tiempo (tendencia, ciclo, variaciones estacionales y aleatorias) elegimos las metodologías antes mencionadas.

La aplicación de los métodos de descomposición para pronosticar series temporales que manifiestan tendencia y efectos estacionales. Específicamente para el modelo de descomposición multiplicativa es útil para modelar series de temporales que manifiestan una variación estacional creciente o decreciente. En cuanto al modelo de descomposición aditiva, que se pueden utilizar para modelar series temporales que muestran una variación estacional constante.

La suavización exponencial es un método que muestra su mayor eficacia cuando los componentes (tendencia y variación estacional) de las series temporales podrían manifestar cambios en el tiempo. El método de suavización simple es posible utilizarlas cuando se supone que la serie temporal pero el nivel (o media) de la serie de temporal puede modificarse con el tiempo. En cambio el método de Holt de suavización exponencial corregida de la tendencia, que es un método para pronosticar una serie de temporal que tiene localmente una tendencia pero una tasa de crecimiento (o pendiente) que cambia con el tiempo. Recordemos que el método Holt –Winters aditivo es apropiado para la variación estacional constante y el método Holt –Winters multiplicativo es apropiado para la variación estacional creciente.

Los pronósticos realizados mediante el uso de estos métodos tienen la premisa de que se mantendrá la tendencia que se ha venido dando, con lo cual se obtienen pronósticos que son bastante precisos en el corto plazo. Entre estos se tienen las técnicas de promedio móvil simple, promedio móvil ponderado, suavización exponencial, suavización exponencial ajustada a la tendencia, método estacional multiplicativo y series de tiempo con influencias estacionales y de tendencia, entre otras. (Contreras Juárez, Zuñiga, Martínez Flores, & Sánchez Partida, 2016)

Método multiplicativo de Holt-Winters. Tiene 3 etapas, un primer grupo de datos es para inicializar el modelo, esto es determinar los indicadores de nivel, tendencia y estacionalidad. Un segundo conjunto de datos es necesario para probar o calibrar los índices de suavización Alfa, Beta y Gamma. Un tercer grupo de datos para pronosticar y evaluar el funcionamiento del modelo propuesto.