

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

**“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN
LOGÍSTICA”**

TEMA:

**“MEJORA DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE
ABASTECIMIENTO DE UNA EMPRESA COMERCIAL MEDIANTE
UN MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA”**

AUTOR:

CESAR LEOPOLDO VASQUEZ VALDANO
Guayaquil - Ecuador

2020

RESUMEN

La empresa analizada, en el presente trabajo es un distribuidor ferretero que evidenciaba serias dificultades en cuanto al nivel de servicio o capacidad de entrega se refiere, ocasionando efectos colaterales como: pérdida de competitividad y participación de mercado, deserción de vendedores y lógicamente disminución de rentabilidad y ventas.

Mediante la elaboración de un modelo matemático se pretende mejorar la eficiencia del proceso de abastecimiento que genera el plan anual de adquisiciones, que busca: la reducción de quiebres de inventario incrementando la capacidad de respuesta y obteniendo fruto de ello, un incremento de ventas y utilidad operacional promovido por el aprovechamiento de los beneficios de la economía de escala y la liberación de capital de trabajo por reducción de inventario.

La función objetivo planteada busca maximizar la rotación del inventario a un costo muy bajo, sujeta a restricciones como: mínimo de fabricación por producto, conservación de flujo entre periodos, capacidad mensual de generación de órdenes, periodos con no posibilidad de ordenar, entre otros.

El modelo matemático logra obtener un escenario de desempeño en el cual se logra reducir el almacenamiento promedio en un 39% y la inversión en inventario en un 22%, representando la liberación de 7 millones de dólares de capital de trabajo y aprovechamiento económico de espacio en bodega, que generaría un retorno conjunto de 600.000 USD aproximadamente.

ABSTRACT

The company analyzed, is a hardware dealer who evidenced serious difficulties regarding the level of service or delivery capacity, causing collateral effects such as: loss of competitiveness and market share, desertion of sellers and logically reduced profitability and sales. The development of a mathematical model is intended to improve the efficiency of the supply process generated by the annual procurement plan, which seeks: the reduction of inventory breakages by increasing the response capacity and obtaining the product thereof, an increase in sales and Operational profit promoted by taking advantage of the benefits of the economy of scale and the release of working capital due to inventory reduction. The objective function proposed seeks to maximize inventory turnover at a very low cost, subject to restrictions such as: minimum manufacturing per product, conservation of flow between periods, monthly capacity to generate orders, periods with no possibility of ordering, among others. The mathematical model achieves an execution scenario in which the average storage is reduced by 39% and inventory investment by 22%, representing the release of 7 million dollars of working capital and economic use of space in the warehouse, which would generate a joint return of approximately USD 600,000.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi esposa, Ing. Karina Pérez Padilla, a mis hijos: Danny, Lucas y Mateo, a mi madre: Eco. Lourdes Valdano, la primera profesional en nuestra familia. Hoy gran parte de este título se lo debo a su ejemplo de superación y valentía.

César Vásquez Valdano

AGRADECIMIENTO

A mi Padre por su amor e infinita gracia. A mi familia por su paciencia, por sacrificar tiempos que necesitábamos para nosotros, por apoyarme y respaldarme incondicionalmente, especialmente a mi Esposa por su amor y comprensión.

César Vásquez Valdano

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de titulación, me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.



VÁSQUEZ VALDANO CÉSAR LEOPOLDO

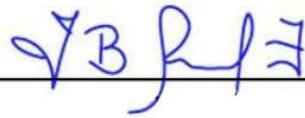
ESTUDIANTE

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



XAVIER CABEZAS GARCÍA, Ph.D.

PRESIDENTE



JOHNI BUSTAMANTE ROMERO, Ph.D.

DIRECTOR



M.SC. DAVID DE SANTIS BERMEO

VOCAL PRINCIPAL

Contenido

CAPITULO 1	1
1. INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Descripción del problema.....	2
1.3 Objetivos:	3
1.4 Hipótesis	4
1.5 Alcance	4
CAPÍTULO 2.....	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1 Teoría de programación lineal.	6
2.2 Forma de los problemas de programación lineal	6
2.3 Condiciones de un problema de pl entero.	7
2.4 Ejemplos de problemas de programación lineal.	8
2.4.1 Problema de la Dieta	8
2.4.2 Problema del transporte.....	9
2.5 Métodos de resolución.....	10
2.5.1 Método Grafico	10
2.5.2 Método Simplex	12
2.5.3 Conceptos relevantes y esencia del método simplex.	12
2.6 Elementos estadísticos básicos e indicadores de desempeño logístico.	17
2.6.1 Media aritmética.....	17
2.6.2 Varianza.....	17
2.6.3 Coeficiente de dispersión.....	17
2.6.4 Indicadores de Desempeño Logístico	18
2.6.5 Indicadores de Abastecimiento	18
2.7 Complejidad computacional	19
2.7.1 Introducción	19
2.7.2 Número de Operaciones.....	20
2.7.3 Velocidad de un algoritmo.....	20
2.7.4 Orden para funciones	20
2.8 Medición de complejidad de un algoritmo	21

2.9 Clasificación de Problemas por su complejidad.....	22
2.10 Detalle de problemas NP Completos.	22
2.11 Reducción Polinomial	22
2.12 Problema del milenio: P vs NP.....	23
CAPÍTULO 3.....	24
3. METODOLOGÍA	24
3.1 Descripción del modelo y desarrollo del modelo matemático	24
3.2 Marcadores del modelo	25
3.2.1 Periodos.....	25
3.2.2 Productos.....	25
3.2.3 Parámetros del modelo.....	26
3.3 Variables de decisión	31
3.4 Variable binaria	32
3.5 Función objetivo	32
3.6 Restricciones	33
3.6.1 Inicialización de inventario	33
3.6.2 Conservación de flujo.	33
3.6.3 Restricciones de no negatividad.	34
3.6.4 Restricción orden de fabricación mínima	34
3.6.5 Restricciones de periodos para lanzar una orden.....	35
3.6.6 Restricciones que garantizan el inventario de seguridad.	35
3.6.7 Restricción de costo.....	35
3.6.8 Cantidad de órdenes que se deben generar por artículo.....	37
3.6.9 Cantidad de ítems a ordenar por periodo.....	37
3.6.10 Cálculo de orden computacional.....	37
CAPÍTULO 4	39
4. RESULTADOS.....	39
4.1 Análisis de resultados y objetivos planteados.....	39
4.2 Número de órdenes lanzadas por ítems.	¡Error! Marcador no definido.
4.3 Calendario de lanzamiento de órdenes $b(k,i)$	46
4.4 Tamaño de orden por periodo.....	47
4.5 Inventario final $s(k, i)$: unidades del producto k al final del mes (i)	47
4.6 Coeficientes de rotación de inventario obtenidos.....	47
4.7 Beneficio económico del proyecto	48
CAPÍTULO 5	49
5. CONCLUSIONES	49

5.1 Conclusiones	49
5.2 Recomendaciones	49
6. Referencias	51
7. Apéndices y anexos	53
7.1 Anexo 1: Calendario de lanzamiento de órdenes $b(k, i)$	53
7.2 Anexo 2: Cantidad a ordenar del producto k durante el periodo i . $x(k, i)$	57
7.3 Anexo 3: Inventario final $s(k, i)$: en unidades del producto k al final del mes (i)	63
7.4 Anexo 4: Cantidad mínima de fabricación por artículo.....	68
7.5 Anexo 5: Código gams.....	71

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	Problema de la dieta.....	8
Tabla 2.	Parámetros problema de transporte.....	9
Tabla 3.	Resolución problema de transporte.....	11
Tabla 4.	Uso de variables artificiales.....	13
Tabla 5.	Construcción de tabla método simplex.....	15
Tabla 6.	Clasificación de algoritmos según tiempos de ejecución.....	21
Tabla 7.	Marcadores del modelo.....	26
Tabla 8.	Cálculo de costo de almacenamiento.....	27
Tabla 9.	Cálculo de costo de ordenar.....	27
Tabla 10.	Número de órdenes lanzadas por ítem.....	45
Tabla 11.	Número de ítems ordenados por periodo.....	46
Tabla 12.	Conteo de ítems por intervalos de rotación.....	47
Tabla 13.	Niveles de almacenamiento observados y modelados (cbm).....	40
Tabla 14.	Coeficientes de rotación observados y modelados.....	40
Tabla 15.	Niveles de inventario en (usd) observados y modelados.....	42
Tabla 16.	Beneficio monetario por reducción de almacenamiento.....	48
Tabla 17.	Beneficio monetario por liberación de capital de trabajo.....	48

LISTADO DE GRÁFICOS

Ilustración 1: Resolución por método gráfico.....	11
Ilustración 2: Incremento de rotación obtenido.....	41
Ilustración 3. Número de ítems ordenados por periodo.....	43
Ilustración 4: Número de artículos arribados.....	44

CAPITULO 1

1. INTRODUCCION

La empresa analizada, en el presente trabajo es un distribuidor ferretero con alcance a nivel nacional. Factura varias decenas de millones de dólares anualmente por medio de sus canales de distribución predominantes: mayorista y retail.

En la actualidad la globalización en el comercio mundial ha llevado a que las empresas comerciales y de todo tipo en general enfrenten cada día un nivel mayor de competencia.

Un factor diferenciador para generar ventaja competitiva es la capacidad de satisfacer al cliente ¹.

Disponer del inventario adecuado de varios miles de productos en un determinado momento no es tarea fácil, por lo que tener la capacidad de cumplir con altos estándares de confiabilidad de entrega de pedidos, es percibido por los clientes como un buen servicio. De aquí nace la importancia de diseñar una sólida, eficiente y funcional cadena de abastecimiento que balancee adecuadamente los gastos asociados y el nivel de servicio deseado.

1.1 Antecedentes

La planificación de abastecimiento en las pymes en este sector industrial se realiza en su mayoría con métodos de revisión manual de inventario que generalmente no funcionan adecuadamente.

Acerca de este tema existen varios trabajos latinoamericanos que se pueden citar, tales como:

García ², estudia los modelos teóricos para el control de inventarios aplicables a las necesidades reales de las pymes, analizando los elementos necesarios para alcanzar la sinergia de estos modelos para mejorar la toma de decisiones.

Presenta ventajas y desventajas de cada método. Una de las conclusiones más importantes es que desarrolla el concepto de inventario de seguridad muy de la mano de la dispersión de la demanda.

¹ (Porter, 1987)

² (García, 2008)

Por otra parte, Durán, Y. ³ establece que existe una relación directa entre el incremento de la utilidad operacional y la afinidad en la organización con el manejo e implementación de técnicas de inventario.

Juan Manuel Izar y Héctor Méndez ⁴, estudian 6 algoritmos o métodos de control de inventarios desde el punto de vista de minimización de costos, obteniendo que los modelos resultantes con menor costo han sido Simulación y el método híbrido, aprovechando descuentos por cantidad de pedido.

1.2 Descripción del problema

Previo al desarrollo del presente trabajo, esta empresa evidenciaba serias dificultades para poder despachar o entregar las solicitudes de producto a sus clientes, a pesar de contar con un inventario valorizado en varios millones de dólares.

En otras palabras, los stocks están compuestos por mercancía que no es demandada por los clientes y no se dispone del inventario adecuado de aquellos ítems primordiales.

El inventario bajo estas condiciones no cumple sus funciones primordiales: tales como: aprovechar las economías de escala para reducir el costo de las mercancías y su entrega, aislar el efecto de variabilidad de la demanda y tiempo de abastecimiento e incrementar el índice de cumplimiento de entrega. i (chopra, 2008)⁵

Efectos colaterales de este problema, podemos citar:

- 1) Pérdida de competitividad por no existir una programación anual de compras que aproveche los descuentos por volumen, precios de materias primas, estacionalidad de costos de transporte. (chopra, 2008)⁶
- 2) Pérdida de participación de mercado en líneas estratégicas por falta de inventario. Lo que facilita la aparición de nuevos competidores.
- 3) Deserción de vendedores por no poder generar los ingresos adecuados.

³ (Durán, enero-junio, 2012, Universidad de los Andes Mérida, Venezuela)

⁴ (Izar & Méndez, 2013)

⁵ (chopra, 2008) , página 304

⁶ (chopra, 2008) , página 264

- 4) Retraso en cobranzas, pues los clientes deciden distribuir este recurso limitado (unidad monetaria) y cancelar las facturas de las empresas que disponen de los productos que necesitan.

Dentro de los objetivos del presente trabajo, se puede detallar:

Disminuir los costos de compra aprovechando economías de escala, por negociar volúmenes anuales, es decir generar el plan maestro anual de abastecimiento que aprovecha las ventajas de precios estacionales de materia prima y costos de transporte para los ítems de mayor importancia para la empresa.

Reducir los quiebres de inventario, lo que necesariamente conlleva a incrementar las ventas y utilidad operacional.

Balancear los arribos de mercaderías (proceso de recepción) de acuerdo a los Recursos Humanos disponibles. Con ello se intentará reducir la necesidad de contratación de personal eventual para recepción de mercadería.

Disminuir el peso del componente transporte en el costo unitario de la mercadería mediante el cumplimiento de los mínimos de fabricación.

Incremento del fill rate o tasa de capacidad de entrega, que mide la fracción de la demanda que se puede satisfacer sin back orders.⁷ (Edward A. Silver, 2011)

1.3 Objetivos:

Los principales objetivos de la investigación se pueden resumir en:

- 1) Definir el plan maestro anual de abastecimiento.

Resultado esperado:

Disminución de los costos de compra aprovechando economías de escala, estacionalidad de precios de materia prima y costos de transporte por negociar volúmenes anualmente.

- 2) Determinar el nivel óptimo de almacenamiento en bodega y coeficiente de rotación adecuado para artículos de un origen específico.

Resultado esperado: Reducción del espacio necesario para almacenamiento no productivo.

Resultado esperado: Disminución del capital operacional conservando un nivel de servicio adecuado.

⁷ (Edward A. Silver, 2011) , página 1.

- 3) Organizar los arribos de mercadería al Centro de Distribución de acuerdo al recurso humano disponible.

Resultado esperado: Reducir gasto asociado a la necesidad de contratación de personal eventual para recepción de mercadería durante varios periodos anuales.

- 4) Calcular la cantidad a ordenar y el momento adecuado para lanzar la orden, cumpliendo los criterios de pedido mínimo establecidos por los fabricantes.

Resultado esperado: Disminuir el peso del componente transporte y gastos logísticos de exportación en origen, lo que aportará a incrementar la efectividad de la cadena de suministro.

Resultado esperado: Incremento de utilidad lo que genera un soporte fundamental para la planificación comercial y de marketing.

1.4 Hipótesis

Mediante la elaboración de un modelo matemático se pretende mejorar la eficiencia del proceso de abastecimiento que genera el plan anual de adquisiciones, que buscará: la reducción de quiebres de inventario incrementando la capacidad de respuesta y obteniendo fruto de ello, un incremento de ventas y utilidad operacional promovido por el aprovechamiento de los beneficios de la economía de escala y la liberación de capital de trabajo por reducción de inventario.

1.5 Alcance

La política de inventario generada por optimización se aplicará a los artículos que generan el 80% de las ventas y se consideren resurtibles. Se considera un artículo como resurtible si su coeficiente de dispersión es menor a 1,5. (Merino, Noviembre 2017)⁸

No es objetivo del presente trabajo generar pronósticos de ventas, los parámetros que usará el modelo matemático serán los generados por el departamento de planificación de la empresa.

Los productos nuevos (sin historial) o aquellos que no se consideren resurtibles, no serán modelizados matemáticamente.

El presente trabajo tiene como objetivo definir la política de inventario, no analiza los demás subprocesos que forman parte del abastecimiento general de la empresa.

⁸ (Merino, Noviembre 2017)

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Teoría de programación lineal.

La programación lineal se desarrolló durante la segunda guerra mundial como un modelo matemático para planificar recursos y lograr el equilibrio entre gastos y pérdidas esperadas en los enemigos, fue mantenida en secreto hasta 1947, luego de esto fue implementada por varias empresas para su planificación diaria. George Dantzig publicó en 1947 el algoritmo simplex y John von Neuman desarrolló en ese mismo año la teoría de la dualidad.

La programación lineal es el conjunto de técnicas mediante el cual se busca ayudar en la toma de decisiones para resolver problemas reales en donde se presenta un gran número de variables, con el objetivo primordial de optimizar (maximizar o minimizar) combinaciones lineales de las variables de interés.

Los modelos de programación lineal, son usados para resolver una variedad de problemas, tales como programación de producción, secuenciación de actividades, ruteo vehicular, problemas de inventario, etc

Existen problemas que tomarían demasiado tiempo para encontrar una solución ya que el número de posibles combinaciones o alternativas representa un número exorbitantemente grande, por ello es necesario que se los plantee como una programación lineal, lo cual hace que se reduzca el número de soluciones óptimas y el tiempo para resolverlo sea más manejable.

2.2 Forma de los problemas de programación lineal

Es muy importante para poder resolver este tipo de problemas es conocer los elementos que lo conforman, un problema de programación lineal está compuesto por: función objetivo, variables de decisión y restricciones (todas estas tienen un comportamiento lineal).

Función Objetivo. - Es la combinación lineal de variables que se quiere optimizar (maximizar o minimizar), teniendo en cuenta las limitaciones existentes.

Variables de Decisión. - Parte de la función objetivo, y se busca encontrar un valor óptimo que permita cumplir con los requerimientos del problema.

Restricciones. -Son todas las limitantes que debemos considerar para el planteamiento del problema, y que condicionan los valores factibles para las variables de decisión, están expresadas como inecuaciones lineales.

Los problemas de programación lineal pueden ser acotados o no acotados, para el primer caso su solución se encuentra en los vértices de su región de factibilidad delimitada por las restricciones del problema. En el caso de los problemas no acotados su función objetivo no tiene límites por lo tanto su región de factibilidad tiende al infinito en cuyo caso se pueden encontrar múltiples soluciones que satisfacen nuestras restricciones.

Un problema de programación lineal puede ser de maximización o minimización y en su forma matricial se lo expresa de la siguiente manera:

$$\text{Max/Min } Z = C^T x$$

$$\text{sujeto a: } Ax = b$$

$$x \geq 0$$

El conjunto de valores que cumple con todas las restricciones se lo conoce como región factible. La solución óptima es el punto que maximiza o minimiza la función objetivo dentro de la región factible.

2.3 Condiciones de un problema de pl entero.

Para los problemas de programación lineal las variables pueden tomar valores reales positivos mientras que para los problemas de programación lineal entera como su nombre lo indica los valores que toman sus variables en algunos casos deben ser enteros o binarios.

Un ejemplo práctico de variables binarias lo podemos ejemplificar claramente en las finanzas, para casos en los que se debe escoger un proyecto x_j con sus respectivos costos asociados a_j y ganancia generada c_j para el cual se desea maximizar su rentabilidad Z sin sobrepasar un presupuesto establecido b , para las variables y condiciones establecidas el problema en su forma general quedaría planteado de la siguiente manera:

$$\text{Max } Z = \sum_1^n c_i \cdot x_i$$

$$\text{sujeto a: } \sum_1^n a_i \cdot x_i \leq b_j$$

$$x_j \in \{0,1\}, j = 1,2, \dots, n$$

2.4 Ejemplos de problemas de programación lineal.

En la industria y la economía, permite resolver problemas tales como dietas, mezclas, transporte, planificación de producción, almacenamiento, entre otros. A continuación, se detallan ciertos ejemplos:

2.4.1 Problema de la Dieta

En este problema se busca satisfacer los requerimientos nutricionales para cumplir con una dieta usando alimentos establecidos. La variación en este tipo de modelo está dada por la cantidad de alimentos, características nutricionales y los costos de los mismos.

Tabla 1. Problema de la dieta.

Alimentos	Componentes				Costos
	C1	C2	.....	Cn	
A1	b11	b12	.....	b1n	a1
A2	b21	b22	.....	b2n	a1
.....
Am	bm1	bm2	.....	bmn	am
Necesidades	c1	c2	.....	cn	

Fuente: (chopra, 2008)

Variables de Decisión:

- **X_i** : Unidades de alimento tipo i usadas en la dieta

Función Objetivo:

Minimizar el costo de la dieta:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m a_i X_i$$

Restricciones:

Satisfacer los requerimientos nutricionales:

$$\sum_{i=1}^m b_{ij}X_i \geq c_j$$

- Positivas: $X_i \geq 0$

2.4.2 Problema del transporte.

Este problema tiene por objetivo conocer cuántas unidades de producto deben enviarse de tal manera que se minimicen los costos, sin exceder la capacidad de los centros de distribución u orígenes y satisfaciendo la demanda de cada cliente.

Costo de transportar el producto del centro de distribución (CD) al destino (D),

Centros de distribución CD1, CD2, CDm. (i=1, 2,...m)

Destino demandante: D1, D2, D3.....Dn. (J=1,2,...,n)

Tabla 2. Parámetros problema de transporte.

		DESTINOS (j)				
CD(i)	CD (i)	D1	D2	.....	Dn	CAPACIDAD DE OFERTA (Cdi)
	CD1	c11	c12			u1
	CD2	c21	c22			u2
	.					
	.					
	.					
	CDm	cm1	cm2	.....	cmn	bm
Demanda cliente (dj)	Dj	d1	d2	.....	Dn	

Fuente: (Hiller & Lieberman, 2010, pág. 287)

$$Min Z = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ij} \cdot x_{ij}$$

S.t:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = u_i, \quad \forall i$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = d_j, \quad \forall j$$

$$x_{ij} \geq 0$$

2.5 Métodos de resolución

Para poder resolver los problemas de programación lineal se requiere de diversos métodos de solución, entre los más métodos tenemos:

2.5.1 Método Grafico

Es el menos usado ya que se puede emplear siempre y cuando no se tenga más de dos variables, los pasos a seguir son:

- Se realiza la gráfica de la recta para cada inecuación que forma parte del conjunto de restricciones del problema, y se determinan las intercepciones.
- Se ubica la región de solución, que es aquella que cumple con todas las restricciones y está ubicada en el primer cuadrante.
- Se busca el punto óptimo, para esto se debe sustituir en la función objetivo cada par de puntos X_1 , X_2 de los puntos extremos y calcular el valor de Z . Para el caso donde se busca maximizar, el punto óptimo será el que permita obtener un mayor valor de Z , en el caso de minimizar el punto óptimo será el que proporcione el menor valor de Z .

Ejemplo:

Encontrar la solución máxima usando el método gráfico para el siguiente PL:

$$Z = 4000x_1 + 5000x_2$$

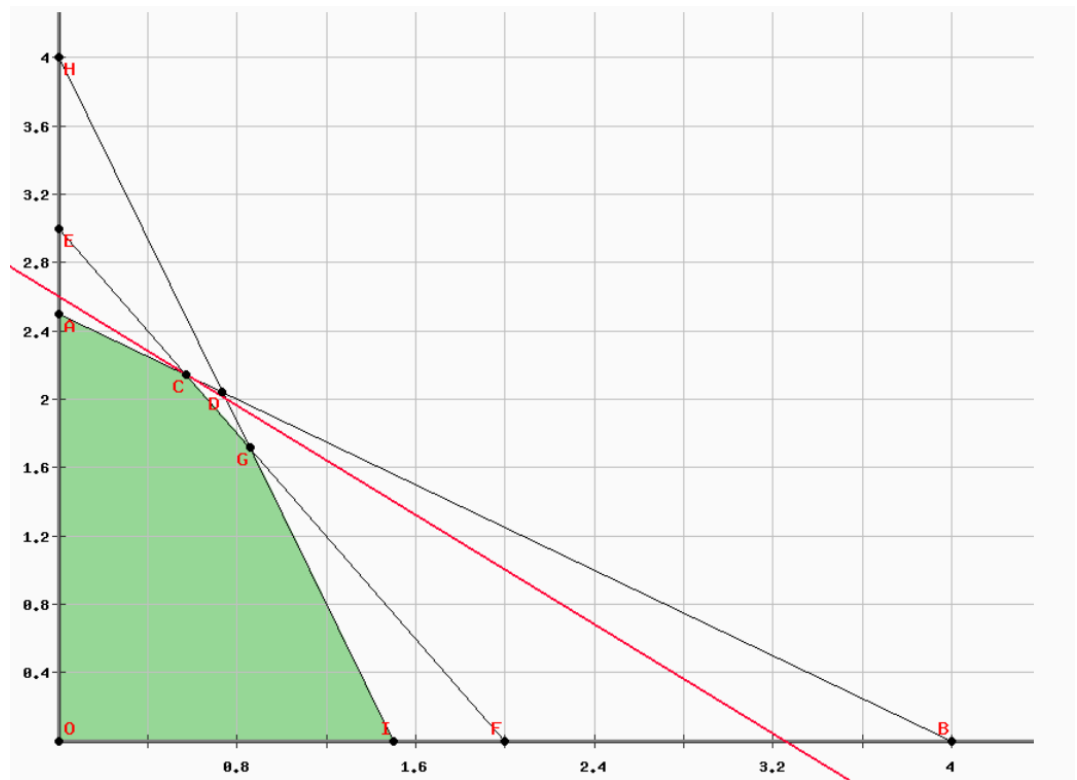
Restringido por:

$$125x_1 + 200x_2 \leq 500$$

$$150x_1 + 100x_2 \leq 300$$

$$72x_1 + 27x_2 \leq 108$$

Ilustración 1 : Resolución por método gráfico.



Fuente: Elaborado por el autor con PHP Simplex, vs 0.81.
<http://www.phpsimplex.com/simplex/simplex.htm>

Tabla 3: Resolución problema de transporte.

Punto	Coordenada X (X ₁)	Coordenada Y (X ₂)	Valor de la función objetivo (Z)
O	0	0	0
A	0	5 / 2	12500
B	4	0	16000
C	4 / 7	15 / 7	13000
D	36 / 49	100 / 49	92000 / 7
E	0	3	15000
F	2	0	8000
G	6 / 7	12 / 7	12000
H	0	4	20000
I	3 / 2	0	6000

Fuente: Elaborado por el autor con PHP Simplex, vs 0.81.
<http://www.phpsimplex.com/simplex/simplex.htm>

ÓPTIMO: $X_1 = 4/7$, $X_2 = 15/7$

2.5.2 Método Simplex

El método simplex, un algoritmo general iterativo destinado a resolver.

problemas de programación lineal, fue desarrollado por George Dantzig en 1947.

Es altamente eficiente y generalmente se lo usa para resolver problemas matemáticos con la ayuda de un ordenador.⁹

Logra una solución óptima en un número finito de pasos y permite resolver modelos matemáticos con más variables involucradas y más complejos que aquellos que se pueden resolver por el método gráfico.

2.5.3 Conceptos relevantes y esencia del método simplex.

Solución FEV: Soluciones factibles en los vértices.

Soluciones FEV adyacentes: En cualquier problema de programación que tenga asociado n variables de decisión, se define como dos soluciones FEV adyacentes cuando comparten $n-1$ fronteras de restricción.

Arista de región factible: Segmento de recta que conecta a dos soluciones FEV adyacentes.

Prueba de optimalidad: Si una solución FEV no tiene soluciones FEV adyacentes que mejoren el valor de la función objetivo, entonces ésta debe ser una solución óptima.¹⁰

El método simplex se circunscribe a analizar solamente las soluciones FEV.

Considerando los recursos computacionales es mejor solo analizar las soluciones factibles adyacentes.

Esencia del algoritmo simplex.

- 1) Encontrar una solución factible inicial.
- 2) Evaluar el concepto de optimalidad.
- 3) Si existe un vértice adyacente capaz de mejorar el valor de la función objetivo, desplazarse.
- 4) Si no, definir el punto actual como el óptimo.

⁹ (Hiller & Lieberman, 2010, pág. 80)

¹⁰ (Hiller & Lieberman, 2010, pág. 83)

El método simplex no evalúa el valor de la función objetivo de las soluciones adyacentes, sino que evalúa la tasa de mejoramiento de la función objetivo en los puntos factibles adyacentes.

PREPARACION PARA EL MÉTODO SIMPLEX.

El método simplex trabaja con combinaciones lineales. Generalmente las restricciones en la vida práctica vienen dadas por inecuaciones. Por lo tanto, es necesario convertir estas inecuaciones en ecuaciones para poder usarlas en el método simplex.

Para ello es necesario la utilización de variables artificiales que nos ayudan a transformar las inecuaciones en igualdades ¹¹, siguiendo el siguiente esquema:

Tabla 4. Uso de variables artificiales

Tipo de desigualdad	Tipo de variable que aparece
\geq	- exceso + artificial
=	+ artificial
\leq	+ holgura

Fuente: (Granja, 2019). PHP SIMPLEX

Ejemplo:

Desigualdades de un modelo de programación lineal:

$$4X_1 + 2X_2 + X_3 \leq 150$$

$$8X_1 + 5X_2 + 2X_3 \geq 750$$

$$2X_1 + 4X_2 + 6X_3 \geq 500$$

$$3X_1 + 5X_2 + 4X_3 \leq 200$$

Ecuaciones usando variables de holgura y exceso:

$$4X_1 + 2X_2 + X_3 + S_1 = 150$$

$$8X_1 + 5X_2 + 2X_3 - S_2 = 750$$

$$2X_1 + 4X_2 + 6X_3 - S_3 = 500$$

$$3X_1 + 5X_2 + 4X_3 + S_4 = 200$$

¹¹ (Granja, 2019)

Es importante mencionar que las variables artificiales no pueden formar parte de la solución.

Para poder aplicar el algoritmo del método simplex, el modelo del problema debe cumplir las siguientes condiciones:

1. Todas las restricciones del modelo deben expresarse como ecuaciones de igualdad.
2. Todas las variables de decisión deben definirse como nulas o positivas.
3. Los términos independientes b_j de cada ecuación deben ser positivos

Forma estándar:

Función Objetivo:

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^n T_i X_n$$

$$\sum \sum a_{ij} X_i \geq b_j$$

$$X_1, \dots, X_n \geq 0$$

Etapas del método simplex:

- Las restricciones del modelo deben ser transformadas a igualdades, el objetivo de este paso es asignar las variables artificiales necesarias a cada recurso.
- Se parte de una solución inicial, que luego irá cambiando en base a los desplazamientos que se ejecuten.
- Construir una tabla, en donde se ubica los coeficientes de las restricciones, los coeficientes de la función objetivo con el signo cambiado, y los recursos.
- Se debe evaluar que variable debe entrar y cuál va a salir de la solución óptima.

Construcción de la tabla:

TABLA 5. Construcción de tabla método simplex.

			T₁	T₂	.....	T_n
Base	Tb	R0	R1	R2	.....	Rn
R1	Tb1	b ₁	a ₁₁	a ₁₂	.....	a _{1n}
R2	Tb2	b ₂	a ₂₁	a ₂₂	.....	a _{2n}
.....
Rm	Tbm	b _m	a _{m1}	a _{m2}	.....	a _{mn}
Z		Z ₀	Z ₁ -T ₁	Z ₂ -T ₂	.....	Z _n -T _n

FUENTE: (Hiller & Lieberman, 2010)

En la primera columna de la tabla se detallan las variables básicas, es decir, aquellas que no son nulas; en la segunda columna se ubica los coeficientes de las variables en la función objetivo; la tercera columna tiene los términos independientes de cada restricción; las columnas restantes incluyen los coeficientes correspondientes a cada variable de decisión y holgura presentada en la función objetivo.

En la última fila se muestra la posibilidad de mejora en la solución Z₀.

Condición de parada:

La condición de parada se ejecuta cuando en la fila Z, no se evidencia la posibilidad de mejora para algún punto FEV adyacente, ya sea el objetivo maximizar o minimizar. Si el objetivo es maximizar y todos los valores en esta fila son negativos, se debe parar. Así mismo se debe proceder si el

objetivo es minimizar y todos los valores detallados en esta fila son positivos.

El desplazamiento al nuevo vértice se lo realiza en una dirección determinada por una variable que sale de la base y una que entra. Existen varios criterios para realizar esta iteración que se detallan a continuación.

Elección de variable que entra:

Para determinar qué variable se vuelve básica, se debe poner atención a la columna (Z), pues en ella se evidencia por cada desplazamiento direccional posible la posibilidad de mejora para la función objetivo. Se debe seleccionar la menor.

Elección de la variable que sale:

Una vez determinada cual es la variable que entra, se debe determinar la variable que sale de la base y es aquella que se encuentra en la fila i , determinando el menor valor considerando los valores positivos para la razón R_0/R_j .

Elemento pivote:

Elemento ubicado en la columna de la variable que ingresa y la fila de la variable que abandona la iteración.¹²

La tabla simplex debe actualizarse con las siguientes manipulaciones algebraicas¹³:

- En la fila del elemento pivote: Nuevo elemento fila pivote = elemento anterior fila pivote / coeficiente pivote
- En el resto de filas:
Nuevo elemento fila = elemento anterior fila – (elemento anterior fila en columna pivote * nuevo elemento fila pivote)

Esta manipulación algebraica se la realiza con el objetivo de que todos los elementos de la columna entrante sean cero, excepto el elemento pivote que debe ser 1.

De esta manera sigue la secuencia del algoritmo hasta que la condición de parada, descrita anteriormente indique que no existe capacidad de mejora en puntos adyacentes.

¹² (Granja, 2019)

¹³ (Granja, 2019)

2.6 Elementos estadísticos básicos e indicadores de desempeño logístico.

2.6.1 Media aritmética

Constituye la medida de tendencia central más representativa en los análisis estadísticos, se calcula realizando la suma de cada uno de los datos que conforman la muestra, y dividiendo ese resultado para el número total de datos. ¹⁴Es representada como \bar{X} , su fórmula es:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n}$$

\bar{X} : Media Aritmética

n: Total de datos que conforman la muestra

Xi : Dato de la muestra

$\sum_{i=1}^n Xi$: Suma de todos los valores de la muestra

2.6.2 Varianza

Es una medida de dispersión que está relacionada con la desviación típica o estándar, para poder obtener la varianza primero se encuentra el promedio de los datos de la muestra, luego, a cada dato se le debe restar el promedio obtenido y se eleva al cuadrado ese resultado, los resultados se suman y se divide para la cantidad total de datos. ¹⁵

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^2}{n}$$

2.6.3 Coeficiente de dispersión

Es una medida de variabilidad, mide o se expresa como la relación entre la desviación estándar y la media. ¹⁶

¹⁴ (Anderson, 2008) Estadística para la administración y Economía. Pag. 127.

¹⁵ (Anderson, 2008) Estadística para la administración y Economía. Pag. 127.

¹⁶ (Anderson, 2008) Estadística para la Administración y Economía. Pág 127

$$CV_x = \frac{S_x}{\bar{X}}$$

2.6.4 Indicadores de Desempeño Logístico

Los indicadores son medidas que permiten cuantificar el rendimiento y evaluar el resultado en cada proceso de la cadena logística, como: Abastecimiento, almacenamiento, distribución, entregas. Por ello, es importante que las empresas incorporen indicadores para poder evaluar logros, reconocer fallos e implementar acciones correctivas.

La medición forma parte fundamental dentro de la toma de decisiones, y permite que la empresa pueda interpretar fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.

2.6.5 Indicadores de Abastecimiento

El proceso de abastecimiento es el responsable de la planificación de aprovisionamiento, control eficiente y almacenamiento de materiales necesarios para el funcionamiento de la empresa.

- Rotación de inventario (unidades)¹⁷

$$\frac{\text{Número de unidades vendidas (Periodo analizado)}}{\text{Stock medio (unidades)}}$$

El cálculo del stock medio se lo realiza sumando el inventario inicial y final, luego ese resultado se lo divide para dos.

- Nivel de Cumplimiento del Despacho ¹⁸

$$\frac{\# \text{ de Despachos} \times 100}{\# \text{ Total de despachos requeridos}}$$

Permite medir el nivel de efectividad de los despachos efectuados a los clientes basado en los perdidos enviados en un tiempo determinado.

¹⁷ (Render, Barry, 2009), Página 453.

¹⁸ (Render, Barry, 2009), Página 502.

Teoría de Resurtibilidad. Se debe considerar a un artículo como resurtible regular cuando su coeficiente de dispersión no supere 0,20.

Se considera a un artículo como resurtible estacional cuando su coeficiente de dispersión calculado es mayor a 0,20 pero menor a 1,5.

Los artículos resurtibles estacionales, se pueden clasificar en: resurtibles monoestacionales y multiestacionales. (Merino, Noviembre 2017)¹⁹

2.7 Complejidad computacional

2.7.1 Introducción

La complejidad computacional está estrictamente relacionada con los algoritmos que resuelven problemas de programación lineal y los recursos que se utilizan para encontrar una solución factible.

Un algoritmo es un conjunto de instrucciones o pasos utilizados para realizar una tarea o resolver un problema.

En 1937 Alan Turing demostró que hay problemas tan difíciles que no existe un algoritmo que pueda resolverlos. Se plantean dos causas para que un problema sea intratable, la más común está relacionada con el tiempo exponencial para llegar a una solución y la segunda hace referencia a que las soluciones de un problema no pueden ser descritas ni enumeradas por un algoritmo polinómico debido a su extensión.

La teoría de la computabilidad y el análisis de algoritmos son campos relacionados con la teoría de la complejidad computacional con la diferencia que el primero analiza todos los posibles algoritmos para resolver un problema en específico y el segundo determina la cantidad de recursos empleados por un algoritmo para resolver un problema en particular. Además, permite clasificar los problemas computacionales basados en su dificultad, estudia la eficiencia de los algoritmos según el tiempo de ejecución y la cantidad de memoria utilizada.

La evolución de la teoría de complejidad ha permitido identificar problemas que cumplen características en común, lo cual nos permite agruparlos para su estudio. Un problema de optimización busca maximizar o minimizar la función objetivo, pero por facilidad de trabajo resulta conveniente transformarlo a un problema de decisión, los cuales buscan obtener una respuesta de "SI" o "NO". Encontrar una solución para los

¹⁹ (Merino, Noviembre 2017)

problemas de decisión, nos permite también hallar una solución a los problemas de optimización.

La complejidad temporal de un algoritmo indica el tiempo que se requiere para llegar a una solución. Considerar soluciones de casos de gran tamaño hace que sea significativo distinguir entre algoritmos de tiempo polinómica o exponencial. Para expresar la complejidad de un algoritmo se suele usar la notación “O”.

2.7.2 Número de Operaciones

Es importante tener noción de cuál es el costo de cálculo cuando se tiene un algoritmo que permita resolver un problema, es decir, conocer el número de operaciones que se deben realizar para llegar al resultado esperado, lo cual nos permite comparar y calificar la eficiencia del algoritmo.

En el término computacional, se emplean las operaciones de punto flotante (flops), las cuales son un conjunto de operaciones aritméticas elementales: suma, resta, multiplicación, y división.

Se dice que un algoritmo tiene un número de operaciones medido por la función:

$f: \mathbb{N} \rightarrow \mathbb{N}; n \rightarrow f(n)$ donde $f(n)$ mide el tiempo de ejecución del algoritmo para un tamaño de entrada n determinado.²⁰

2.7.3 Velocidad de un algoritmo

Se puede decir que un algoritmo $f(n)$ corre a tiempo $g(n)$, si:

$$f(n) = O(g(n)) \Leftrightarrow (\exists \alpha > 0) (\exists n_0 > 0) (\forall n > 0): f(n) \leq \alpha g(n)$$

Esta expresión anterior significa que para que el tiempo de ejecución sea acotado debe existir un n_0 , desde el cual o partir del cual el tiempo de ejecución está acotado por $g(n)$.²¹

2.7.4 Orden para funciones

Se pueden clasificar los algoritmos de acuerdo a la magnitud de su tiempo de ejecución. Típicamente las funciones de orden

(Cabezas, 2014)²⁰

²¹ (Cabezas, 2014, pág. 7)

logarítmicas ($\log(n)$) son las más eficientes, seguidas por las polinómicas (n^k), y luego las exponenciales (2^n).²²

Tabla 6. Clasificación de algoritmos según tiempos de ejecución.

Notación	Nombre
$O(\log n)$	Orden logarítmica
$O(n)$	Orden lineal o de primer orden
$O(n^2)$	Orden cuadrática
$O(c^n)$, $n > 1$	Orden exponencial
$O(n!)$	Orden factorial

Fuente: (Cabezas, 2014, págs. 7-8)

2.8 Medición de complejidad de un algoritmo

Al momento de trabajar con algoritmos, se tiene la necesidad de analizar qué tan bueno es para resolver un problema y la “rapidez” con la que lo hace. El rendimiento de un algoritmo se lo puede medir de las siguientes maneras:

- **Análisis empírico:** Estima cómo se comporta un algoritmo en la práctica, y se lo debe probar en varios ejemplos del problema. Un inconveniente que se presenta al desarrollar el algoritmo es que está condicionado por el lenguaje de programación, el equipo y la habilidad del programador.
Este tipo de análisis implica una cantidad de tiempo elevado, y resulta difícil comparar algoritmos mediante pruebas empíricas ya que el rendimiento depende de los problemas elegidos.
- **Análisis del caso promedio:** Estima el número promedio de pasos que necesita un algoritmo. Este tipo de análisis depende básicamente de la distribución de probabilidad, en ocasiones resulta difícil elegir la mejor distribución de probabilidad para los problemas.
Matemáticamente este tipo de análisis suele ser complejo, lo cual hace difícil trabajar con problemas complicados.

²² (Cabezas, 2014, pág. 7)

- **Análisis del peor caso:** Para este tipo de análisis se debe encontrar límites superiores para el número de operaciones que necesita el algoritmo. Es un análisis que no depende del lenguaje de programación ni de los factores asociados, lo cual lo hace relativamente fácil de aplicar.
Permite comparar dos algoritmos dados, y se establece el tiempo máximo que se necesita para resolver un problema.

2.9 Clasificación de Problemas por su complejidad

Los problemas de programación según su complejidad se clasifican en:

- **P:** Son algoritmos de complejidad polinómica, tratables en la práctica, que pueden ser resueltos en un tiempo razonable en comparación a la complejidad del problema.
- **NP:** Sus mejores algoritmos conocidos son no deterministas, se puede comprobar si una posible solución es válida o no aplicando un algoritmo en un tiempo polinomial.
- **NP Completo:** Son algoritmos con forma polinómica no determinística, cuya solución es difícil de encontrar ya que podría tomar miles de millones de años en llegar a una respuesta.

2.10 Detalle de problemas NP Completos.

Son problemas complejos que se derivan de los NP, obtener una solución en este tipo de problemas significa una gran utilización de recursos (tiempo y memoria computacional), no se los puede resolver en un tiempo polinomial conocido, pero se puede encontrar un resultado aproximado, ya que resulta imposible hallar un algoritmo eficiente para conseguir una solución óptima.

Aplicar heurísticas computacionales permite lograr que los algoritmos propuestos sean más eficientes en cuanto a los recursos empleados, un ejemplo de esto es el problema del ruteo vehicular con ventanas de tiempo, asignación de tareas en máquinas paralelas, calendarización, entre otros, en donde se ha podido mejorar soluciones usando una heurística.

2.11 Reducción Polinomial

Consiste en transformar un problema en otro, es decir: un problema Q puede ser reducido a otro problema Q', si cualquier instancia del problema Q puede ser "fácilmente" expresada como una instancia del

problema Q' , y cuya solución proporcione una solución para la instancia de Q .²³

2.12 Problema del milenio: P vs NP

En mayo del año 2000 el Clay Mathematics Institute (CMI) de Cambridge, E.E.U.U anunció los 7 problemas del milenio y ofreció una recompensa de 1 millón de dólares por cada problema que alguien logre resolver, sin embargo, la relación existente entre las clases P y NP es una pregunta que aún no se logra responder.

Hasta ahora la inclusión que se tiene es que $P \subseteq NP$, es decir si un problema puede resolverse en un tiempo polinomial entonces su certificado es verificable en un tiempo polinomio, pero no se ha logrado comprobar que $NP \subseteq P$ sea válido, y si esto fuera cierto se tendría la identidad $P=NP$.

Lo que se conjetura es que $P \neq NP$, es decir, existen problemas de certificado verificable en tiempo polinomial que no se pueden resolver en tiempo polinomial. Las clases NP-Completo son los que probablemente no se encuentren en P. Conociendo que cualquier problema NP lo podemos transformar en NP-Completo, se puede observar que la manera de acercarse a la conjetura es:

$P=NP$ si y solo si $P \cap NP - \text{Completo} \neq \emptyset$

Si $P=NP$ entonces todos los problemas en NP pueden resolverse en un tiempo polinomial, y como NP-Completo está en NP entonces los problemas NP-Completo también se pueden resolver en un tiempo polinomial, y por lo tanto $P \cap NP - \text{Completo} \neq \emptyset$ ya que los problemas en NP - Completo pertenecen también a P.

Por otro lado, si $P \cap NP - \text{Completo} \neq \emptyset$, existe al menos un elemento NP-Completo que puede resolverse en un tiempo polinomial, y cualquier problema NP se lo puede reducir polinomialmente en un problema NP-Completo. Se puede reducir polinomialmente los problemas en NP al problema en la intersección de P y NP- Completo, es decir, un problema que se resuelva en un tiempo polinomial y al cual cualquier problema en NP pueda ser reducido polinomialmente.

²³ (Cormen, Leiserson, & Rivest, Introduction to Algorithms, 2010, pág. 1067)

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

En esta sección se describe y explica la estructura del modelo matemático propuesto para generar la planificación de compras que garantice una adecuada gestión de inventario, que como objetivo general tiene satisfacer la demanda, minimizando los costos, satisfaciendo restricciones varias, entre ellas restricciones de recursos, restricciones comerciales, etc.

3.1 Descripción del modelo y desarrollo del modelo matemático

La generación del plan maestro de abastecimiento tiene como objetivos:

- 1) Definición del plan maestro anual de abastecimiento,

Resultados esperados:

- Disminución de los costos de compra aprovechando economías de escala, estacionalidad de precios de materia prima y costos de transporte por negociar volúmenes anualmente.
- Reducir los quiebres de inventario.
- Incremento de ventas y utilidad operacional.
- Incremento del nivel de servicio y capacidad de entrega de pedidos completos.

- 2) Determinar el nivel óptimo de almacenamiento en bodega por categorías de artículos.

Resultados esperados:

- Reducción del espacio necesario para almacenamiento no productivo, lo que podría generar un ingreso incremental al otorgarse varias bodegas en alquiler.
 - Disminución del capital operacional conservando el nivel de servicio adecuado.
- 3) Determinar el coeficiente de rotación adecuado por producto, lo que permitirá generar una adecuada política de asignación de precio que guarde coherencia con la rotación del capital invertido por artículo.
 - 4) Reducir gasto asociado a la necesidad de contratación de personal eventual para recepción de mercadería mediante el análisis del

cronograma maestro de abastecimiento que generará el modelo matemático.

- 5) Disminuir el peso del componente transporte y gasto logístico, debido al cumplimiento del mínimo de fabricación exigido por el proveedor.

3.2 Marcadores del modelo

3.2.1 Periodos

Se denomina periodos a los intervalos que representan el horizonte de planificación. Para el presente trabajo, cada periodo representará un mes.

Todos los parámetros y variables de decisión que tengan asociado un intervalo de tiempo, como por ejemplo la demanda, se comprenderá como mensual.

El índice de control que representa los periodos se define como i , que se define entre 0 y $n=26$ (periodos).

i periodos /d0*d26/

3.2.2 Productos

Producto se define como los ítems que son comercializados y que constituyen un conjunto de características y atributos tangibles e intangibles, que están destinados a satisfacer una necesidad del consumidor. Los representaremos por el *índice* k , que se define en el rango entre 1 y $M=600$ (productos).

El plan de abastecimiento que se generará mediante optimización, se aplica a los artículos que generan el 80% de las ventas y se consideren resurtibles.

k productos /prod01*prod600/

Tabla 7: Marcadores del modelo

MARCADORES	DESCRIPCION DE LOS MARCADORES
I	PERIODOS
K	PRODUCTOS

Fuente: Elaborado por el autor.

3.2.3 Parámetros del modelo

Escalares

Tasa de recuperación o costo de capital

Los costos de capital relacionan el inventario físico con respecto al costo del dinero invertido en ese inventario. Representan generalmente por lo menos un 80% del costo total del inventario.

La tasa de superación se define como la tasa máxima de rendimiento anual que corresponden a los proyectos más rentables que el grupo empresarial no acepta.²⁴

Para el presente proyecto manejaremos una tasa de superación de 0.16

scalar tasa_superacion /0.16/;

Costo de almacenamiento.

Costo de almacenamiento se refiere al costo incurrido mensualmente por almacenar cada metro cúbico de mercadería. Se estima mediante el costo de oportunidad de arriendo de una bodega. El cálculo se detalla en la Tabla siguiente:

scalar cbm /4.29/;

²⁴ (Ballou, 2004), página 338.

Tabla 8. Cálculo de costo de almacenamiento.

CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO (BODEGA) EN METROS CÚBICOS	COSTO DE ARRIENDO DE BODEGA	COSTO X METRO CÚBICO
700	\$3.000	\$4,29

Fuente: Elaborado por el autor.

Costo administrativo para lanzar una orden.

El costo de ordenar enmarca a todos los costos asociados con colocar o recibir un pedido, de cualquier tamaño de orden y está constituido generalmente:

- Costo de procesar un pedido a través de los departamentos de contabilidad y compras.
- Costo de revisión, recepción y ubicación en perchas que no dependan del tamaño de lote ordenado.²⁵

Tabla 9: Cálculo de costo de ordenar.

COSTOS GENERADOS POR EL DEPARTAMENTO DE COMPRAS E IMPORTACIONES			
EMPLEADO	NOMINA MENSUAL	NOMINA (INCLUYE BENEFICIOS)	TOTAL NOMINA ANUAL
GERENTE	\$ 3.500	\$ 4.725	\$ 56.700
COMPRADOR 1	\$ 1.200	\$ 1.620	\$ 19.440
COMPRADOR 2	\$ 1.300	\$ 1.755	\$ 21.060
COMPRADOR 3	\$ 1.300	\$ 1.755	\$ 21.060
DISENADOR	\$ 1.200	\$ 1.620	\$ 19.440
ASISTENTE IMP.	\$ 900	\$ 1.215	\$ 14.580
ANALISTA LOGISTICO	\$ 600	\$ 810	\$ 9.720
TOTAL	\$ 10.000	\$ 13.500	\$ 162.000
CANTIDAD DE IMPORTACIONES ANUALES		380	
REFERENCIAS X ORDEN PROMEDIO		30	
COSTO FIJO POR IMPORTACION		\$ 426	
COSTO FIJO POR ÍTEM ORDENADO		\$ 14	

Fuente: Elaborado por el autor.

²⁵ (chopra, 2008)

El costo resultante por generar una orden, independientemente del tamaño de la misma o del número de artículos corresponde al costo total unitario administrativo por procesar un pedido: \$14 x artículo.

scalar costo_orden /14/;

Parámetros

Se puede definir como parámetros corresponden a todos aquellos valores que, durante el desarrollo del algoritmo de resolución efectuado por el gestador de modelo matemático, su valor se mantiene siempre constante. Deben ser claramente definidos inicialmente. Se han definido los siguientes parámetros con su respectiva nomenclatura:

Volumen_(k)

Se denomina volumen a un vector de tamaño (kx1), en el que se almacena k valores que representan la cantidad de espacio físico que ocupa una unidad de ese producto medido en metros cúbicos.

Está definida para todos los k productos que se considerarán en el modelo matemático.

Volumen_(k) *Volumen en metros cúbicos del producto k.*

MOQ_(K): Minimal order quantity

Cantidad mínima de fabricación o ***MOQ_(K)***, se puede definir como un vector de tamaño (kx1) que representa la mínima cantidad a producir por artículo por parte del proveedor internacional, que responde generalmente a su tiraje de producción, rendimiento de materia prima, etc.

Para todos los k artículos involucrados en la presente modelización, debe asociarse la cantidad mínima de orden como un parámetro de ingreso.

MOQ_(K) *Cantidad mínima de orden del producto k.*

Lead time: tiempo de reabasto. *L_(K)*

Lead time o tiempo de reabasto es un vector de tamaño $(k \times 1)$, que contiene el tiempo que transcurre desde que se genera una orden de compra, hasta que el artículo se encuentre disponibles para la venta. Se debe definir para todos los k artículos involucrados en la presente modelización.

$L_{(K)}$ **periodo de reabasto del producto k medido en meses.**

Promedios de venta.

Promedio de venta, $prom_{(k)}$ se define como un vector de tamaño $(k \times 1)$, en el que se detallan los promedios de venta observados en la serie de venta mensual, calculado durante los últimos 50 meses.

$prom_{(k)}$ **promedio de venta mensual del producto k .**

Inventario inicial

Inventario inicial, se define como un vector de $(k \times 1)$, en el que se detalla las existencias iniciales por cada artículo modelado. En otras palabras, se define como el inventario final del mes 0 de la planificación.

$inv_inicial_{(k)}$ **inventario inicial del producto k .**

Inventario mínimo.

Mínimo, se define como un vector de $(k \times 1)$, en el que se detalla una cota inferior a la cantidad de inventario que se debe garantizar como mínimo disponible como parte de la planificación resultante al final de cada mes detallado en el plan maestro de abastecimiento.

El inventario de seguridad es proporcional al tiempo de reabasto, variabilidad de venta y tasa de servicio requerida. Es decir, mientras más largo sea el periodo de reabasto o mientras se requiera una mejor tasa de servicio, mayor será el inventario de seguridad requerido. (Ballou, 2004)²⁶

Representa un grave error conceptual definir el inventario de seguridad de una misma forma para todos los tipos de productos. Típicamente es común definirlos en función de una

²⁶ (Ballou, 2004)

cobertura de inventario específica para un determinado periodo de tiempo. (García, 2008).²⁷

Por ejemplo, existen organizaciones dentro de esta industria, que deciden fijar el inventario de seguridad en 1 mes, 2 meses, 0,5 meses, de cobertura. Este análisis así de simple, no toma en cuenta la variabilidad observada en la serie de venta del artículo, ni el nivel de servicio requerido.

Una gran ventaja en definir estratégicamente el inventario de seguridad es poder reducir el almacenamiento excesivo de artículos con poca variabilidad, para recuperar capital o invertirlo en el almacenamiento de los artículos con variabilidad alta y en los que se desee poder brindar una buena capacidad de respuesta. (García, 2008).²⁸

$mínimo_{(K)}$: Cota inferior de inventario asociado al producto k, requerida al final de todos los meses.

Uno de los objetivos debe ser reducir los niveles de inventario de seguridad sin perder capacidad de respuesta. Si la demanda no se distribuye normalmente o está sujeta a variaciones estacionales, una herramienta altamente efectiva para definir los niveles de inventario de seguridad es la simulación. De hecho, esta técnica fue usada por el departamento de planificación para definir este parámetro.

Demanda

Demanda conceptualmente se comprende como la cantidad de artículos requeridos por los clientes dentro de un determinado periodo.

Para definirlo como un parámetro, definiremos la tabla de demanda como una matriz (k x i), en la que se detallará la demanda futura para los k artículos modelizados que hacen referencia a los i periodos (mensuales) que conforman el horizonte de planeación.

$Demanda_{(k,i)}$ "demanda del producto k en el periodo i en unidades de producto"

²⁷ (García, 2008)

²⁸ (García, 2008)

Costos

Definimos como costos de adquisición a la cantidad de unidades monetarias que se necesitan invertir para garantizar la disponibilidad del producto en bodega. Definiremos al costo como una matriz ($k \times i$), en la que se detallará el costo de adquisición para los k artículos modelizados que hacen referencia a los i periodos (mensuales) que conforman el horizonte de planeación.

Los costos de adquisición varían en el tiempo. Generalmente en esta industria, tienen una relación directa con la estacionalidad de los costos de materia prima y variabilidad de costos de transporte internacional.

Una gran fuente de variación de costos en el Ecuador, durante los últimos años se ha generado debido a la implementación de restricciones al comercio internacional debido a políticas gubernamentales comerciales. Entre ellas: incremento de aranceles, implementación de salvaguardas, etc.

El costo de adquisición de muchos productos durante estas medidas (año 2009, 2015), llegó a incrementarse en un 50% en algunos casos.

Una razón muy poderosa para mantener inventarios se suscita como producto de compras anticipadas en periodos preliminares al momento en que se produzca un incremento sustancial de precios de adquisición, lo que conlleva a generar almacenamiento. En este sentido el inventario tiene un objetivo especulativo (Durán, enero-junio, 2012, Universidad de los Andes Mérida, Venezuela)

$costos_{(k,i)}$ "inversión monetaria que se origina al ordenar el producto k en el periodo i medido en unidades monetarias"

3.3 Variables de decisión

- $S_{(k,i)}$: Inventario final, producto k en el mes i .

$Matriz_{(K,I)}$: Matriz en la que se detallan la cantidad de inventario disponible como parte de la planificación resultante al final de cada mes detallado en el plan maestro de abastecimiento.

- $X_{(k,i)}$: Cantidad a ordenar del producto k , durante el periodo i .

$Matriz_{(K,I)}$: Almacena la cantidad de producto que se debe ordenar del producto k , al inicio del periodo i .

3.4 Variable binaria

$b_{(k,i)}$: se la define como una variable binaria, con la siguiente regla de correspondencia:

$$b_{(k,i)} = \begin{cases} 1, & \text{Si se ordena el producto } k, \text{ en el inicio del periodo } i . \\ 0, & \text{si no.} \end{cases}$$

3.5 Función objetivo

Se plantea la función objetivo que garantice maximizar los coeficientes de rotación.

Plantear una que solamente minimice costos, no necesariamente garantiza maximizar la rotación de inventario.

Debido a que la directiva de la empresa valora la rotación de inventario se plantea la función objetivo de la siguiente forma:

El Coeficiente de rotación de inventario según ²⁹ (Ballou, 2004) , se define como: ventas totales anuales / Inventario promedio.

$$\text{Coef. rotación}_{(k)} = \frac{\text{ventas anuales}}{\text{inventario promedio}}$$

Luego $\forall k$, $\text{ventas anuales} = \sum_i \text{demanda}_{(k,i)}$.

Inventario promedio = $\frac{1}{M} \sum_i^M S_{(k,i)}$

Entonces, la suma de coeficientes de rotación para todos los k productos quedaría:

$$\text{Sum. coef. rotación} = M \sum_{k=1}^{k=n} \frac{\sum_i \text{demanda}_{(k,i)}}{\sum_i^M S_{(k,i)}}$$

Como, $\sum_i^M \text{demanda}_{(k,i)}$ y M, son parámetros conocidos, entonces:

²⁹ (Ballou, 2004), página 70

Si se pretende maximizar la suma de los coeficientes de rotación, para este caso, la manera de lograrlo es minimizando: $\sum_k \sum_i S_{(k,i)}$.

Se desea entonces minimizar, la siguiente función objetivo:

$$\text{Función objetivo} = \sum_k \sum_i S_{(k,i)}.$$

3.6 Restricciones

Se consideran los siguientes tipos de restricciones:

3.6.1 Inicialización de inventario

Inventario disponible al momento de inicio de la planificación que generará el modelo matemático, debe ser ingresado como una restricción de inicio.

Inventario final del mes "0", toma el valor del parámetro inventario inicial.

$$\forall k, S_{(k,d_0)} = inv_inicial_{(k)}$$

3.6.2 Conservación de flujo.

Según Taha³⁰ como conservación de flujo se entiende a el equilibrio entre el flujo de entrada y el flujo de salida. Para el presente modelo de inventario se lo puede definir como el balance de inventario entre el periodo anterior y el actual, en el que se involucra:

- **Periodo anterior:** Inventario final: $S_{(k,i-1)}$
- **Periodo actual:** Inventario que satisface la demanda: $demand_{(k,i)}$
- **Periodo actual:** Inventario que se decide almacenar al final del periodo actual: $S_{(k,i)}$

³⁰ Fuente especificada no válida., Página 236

- **Periodo actual:** Tránsito que ingresa a inventario:

$$x_{(k,i-L(k))}$$

De esta forma, se plantean las siguientes restricciones:

- **Periodos iniciales:** $1 < i < L(k)$

$$\begin{aligned} \forall(k, i) / 1 < i < L(k) ; S_{(k,i)} \\ = S_{(k,i-1)} - \text{demanda}_{(k,i)} \end{aligned}$$

Inventario final en el mes i , es el resultado de inventario final del mes anterior, menos la demanda que se debe satisfacer. Esto es para los periodos iniciales que son menores al Leadtime del producto k .

- **Periodos posteriores:** $i > L(k)$

$$\begin{aligned} \forall(k, i) / i > L(k) ; S_{(k,i-1)} + x_{(k,i-L(k))} \\ = \text{demanda}_{(k,i)} + S_{(k,i)} \end{aligned}$$

Inventario final del mes i , es igual al inventario del mes anterior más el reabasto solicitado $L(k)$ periodos anteriores, menos la demanda consumida en el periodo i .

3.6.3 Restricciones de no negatividad.

La cantidad a ordenar del producto k , en el periodo i , no puede ser negativa. Así:

$$\forall(k, i) ; x_{(k,i)} \geq 0$$

El inventario al final del periodo i , no puede ser negativo. Así:

$$\forall(k, i) ; s_{(k,i)} \geq 0$$

3.6.4 Restricción orden de fabricación mínima

La cantidad a ordenar debe ser cero o múltiplo del MOQ (Minimal Order Quantity).

Si se decide ordenar, el tamaño de orden debe ser múltiplo de $moq_{(k)}$.

$$\forall(k, i) ; x_{(k,i)} \leq M * b_{(k,i)}$$

$$\forall(k, i); x_{(k,i)} \geq moq_{(k)} * b_{(k,i)}$$

Mediante estas dos restricciones se garantiza que $x_{(k,i)}$, que representa la cantidad a ordenar del producto k, en el periodo i, sea exactamente cero o múltiplo del mínimo de fabricación.

M representa una escalar que ayuda a formular las restricciones. No representa ni está definida una cantidad máxima de orden por artículo.

3.6.5 Restricciones de periodos para lanzar una orden

Durante los meses de diciembre y enero, en todo el horizonte de planificación, no se deben realizar pedidos, es decir la cantidad a ordenar durante estos periodos es necesariamente cero. Estos es cuando el índice PERIODOS corresponde a: d_7, d_8, d_{19}, d_{20} .

$$\forall k; x_{(k,d_7)} = 0$$

$$\forall k; x_{(k,d_8)} = 0$$

$$\forall k; x_{(k,d_{19})} = 0$$

$$\forall k; x_{(k,d_{20})} = 0$$

3.6.6 Restricciones que garantizan el inventario de seguridad.

El inventario al final del mes i, debe ser por lo menos el inventario mínimo que se debe garantizar como disponible al final de cada mes detallado en el plan maestro de abastecimiento. Así:

$$\forall (k, i) \text{ tal que: } i > L_{(k+1)}; s_{(k,i)} \geq prom_{(k)} * minimo_{(k)}$$

3.6.7 Restricción de costo.

El proceso de abastecimiento está restringido por la disponibilidad de recursos monetarios. Los costos asociados con el proceso de abastecimiento son:

- Costo de almacenamiento
- Costo de adquisición
- Costo de capital
- Costo de ordenar

No puede destinarse más de 6000.000 USD para cubrir estos costos durante todo el horizonte de planeación.

Según Chopra,³¹ los costos asociados al inventario es el resultante de la adición de varios costos generales, entre ellos: costo de capital, costo de obsolescencia, costo de manejo de inventario, costo de ocupación y costos varios.

Se define al costo de almacenamiento como el costo en el que se incurre por almacenar una unidad adicional de producto.³²

$$\text{Costo almacenamiento} = \sum_k \sum_i cbm * volumen_k * S_{(k,i)}$$

Costo de adquisición es el costo en el que se incurre para realizar la transferencia de propiedad de una unidad de producto entre el proveedor y comprador, incluyendo los costos generados por transporte y nacionalización de mercancías, si las hubiere.

$$\text{Costo de adquisición} = \sum_k \sum_i x_{(k,i)} * costos_{(k,i)}$$

Costo de capital, según Durán Yosmary, es el costo de oportunidad en el que se incurre al decidir invertir los fondos destinados a mantener inventario.

La tasa de superación se define como la tasa máxima de rendimiento anual que corresponden a los proyectos más rentables que el grupo empresarial no acepta.³³

Para el presente proyecto manejaremos una tasa de superación de 0.16

$$\text{Costo de capital} = interes * \sum_i \sum_k x_{(k,i)} * costos_{(k,i)}$$

³¹ (chopra, 2008), página 294.

³² (Durán, enero-junio, 2012, Universidad de los Andes Mérida, Venezuela), Página 64

³³ (Ballou, 2004), página 338.

Costo de ordenar es el costo en que se incurre administrativamente generalmente, para elaborar una orden de compra.³⁴

$$\text{costo de ordenar} = \text{costo de orden} * \sum_k \sum_i b_{(k,i)}$$

Entonces, esta restricción quedaría de la siguiente forma:

$$\sum_k \sum_i [(cbm * volumen_k * S_{(k,i)}) + (x_{(k,i)} * costos_{(k,i)}) + (interes * x_{(k,i)} * costos_{(k,i)}) + (costo ordenar * b_{(k,i)})] \leq 6000000$$

3.6.8 Cantidad de órdenes que se deben generar por artículo.

El número de órdenes o pedidos por artículo, durante todo el horizonte de planificación deben ser más de 4 y menos de 15.

$$\forall (k); \sum_i b_{(k,i)} \leq 15 \quad \text{y} \quad \sum_i b_{(k,i)} \geq 4$$

3.6.9 Cantidad de ítems a ordenar por periodo.

Por restricciones operativas de capacidad administrativa, no se deben ordenar más de 300 ítems por periodo.

$$\forall (i); \sum_k b_{(k,i)} \leq 300$$

3.6.10 Cálculo de orden computacional

Para estimar el orden computacional del modelo matemático, se hará referencia a una técnica de conteo para calcular la cantidad total de combinaciones posibles para la variable $b_{(k,i)}$.

³⁴ (Durán, enero-junio, 2012, Universidad de los Andes Mérida, Venezuela)

$$b_{(k,i)} = \begin{cases} 1, & \text{Si se ordena el producto } k, \\ & \text{en el inicio del periodo } i. \\ 0, & \text{si no.} \end{cases}$$

La matriz resultante de los valores que debe tomar, $b_{(k,i)}$, corresponde a una matriz de tamaño kxi , en los que en cada una de las kxi posiciones existe la posibilidad de que la variable binaria tome dos valores, tal cual como ha sido definida.

Entonces, tenemos que para cada artículo (renglón), existen: 2^i , combinaciones posibles de la variable binaria.

De la misma forma, por el principio multiplicativo de las técnicas de conteo, tenemos entonces que como son k productos, cada uno representado por un renglón, la cantidad de combinaciones de valores que podría tomar la matriz $b(k,i)$ sería:

$2^i \times 2^i \times 2^i \times \dots \times 2^i$; k veces, expresión que se puede representar: 2^{ixk} .

Por lo que se puede concluir que el presente modelo matemático es de orden exponencial $O(c^n)$.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados del modelo, obtenidos mediante la gestión de resolución gestada en GAMS (General Algebraic Modeling System).

Valor resultante de la función objetivo:

804214801.74 (170214 iterations, 19082 nodes).

4.1 Análisis de resultados y objetivos planteados

Objetivo: Reducir el almacenamiento en el centro de distribución.

Resultado: Mediante la optimización generada por el modelo matemático, se logra reducir el inventario almacenado (cbm) aproximadamente **en un 39%**, esto resulta de la comparación de los niveles de inventario final por periodo observados, con respecto a los niveles de almacenamiento generados por el modelo matemático.

**TABLA 10 . Niveles de almacenamiento
observados y modelados (cbm)**

PERIODO	VOLUMEN OBSERVADO	VOLUMEN PLANIFICADO MOD. MAT
d13	4.361	2,661
d14	5.532	2,896
d15	4.662	2,667
d16	4.502	2,664
d17	4.799	2,664
d18	4.500	2,988
d19	3.737	2,671
d20	4.193	2,829

PROMEDIO	4.536 CBM	2.755 CBM
	REDUCCION	-39%

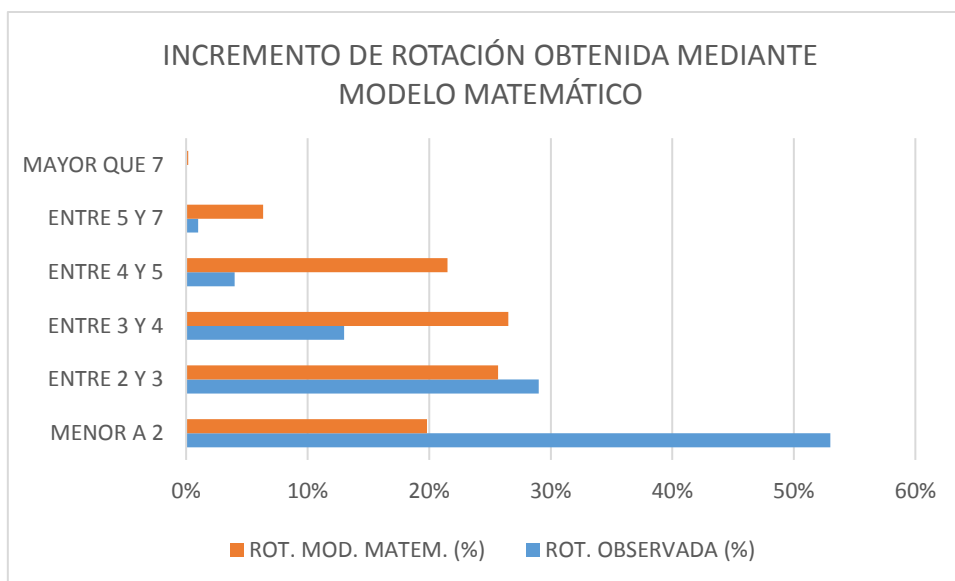
Fuente: Elaborado por el autor.

**TABLA 11: Coeficientes de rotación observados
y modelados.**

RANGOS	ROT. OBSERVADA (%)	ROT. MOD. MATEM. (%)
MENOR A 2	53%	20%
ENTRE 2 Y 3	29%	26%
ENTRE 3 Y 4	13%	27%
ENTRE 4 Y 5	4%	22%
ENTRE 5 Y 7	1%	6%
MAYOR QUE 7	0%	0%
TOTAL	100%	100%

Fuente: Elaborado por el autor.

ILUSTRACIÓN 2: Incremento de rotación obtenido mediante modelización matemática.



Fuente: Elaborado por el autor.

Resultado: Fruto de la disminución de inventario almacenado promedio, se puede evidenciar claramente el incremento del coeficiente de rotación: (unidades vendidas anualmente/ inventario promedio en unidades). Al disminuir el inventario promedio, el coeficiente de rotación se incrementa.

El resultado obtenido mediante modelización matemática, agrupa a más del 50% de ítems con coeficientes de rotación mayor a 3, mientras que la rotación observada en el escenario inicial, solamente el 18% de los ítems presentaban un coeficiente de rotación superior a 3.

Objetivo: Reducir el capital de trabajo invertido como inventario sin perder nivel de servicio.

Resultado: Mediante la optimización generada por el modelo matemático, se logra reducir el inventario en dólares en un **22,2 %**.

**Tabla 12. Niveles de inventario en (usd)
observados y modelados.**

PERIODO	INV. VALORIZADO OBSERVADO	INVENTARIO PLANIFICADO	REDUCCION INV.
d13	4.291.054	3,337,283	953,771
d14	4.494.622	3,495,604	999,018
d15	4.035.513	3,138,541	896,972
d16	4.144.595	3,223,377	921,218
d17	3.913.362	3,043,541	869,822
d18	3.855.762	2,998,743	857,019
d19	3.428.205	2,666,219	761,986
d20	3.873.214	3,012,316	860,898

Total:	32.036.327	24,915,624	7,120,703
	REDUCCION	-22,2 %	

Fuente: Elaborado por el autor.

Objetivo: Disminuir el peso del componente transporte en el costo unitario de la mercadería mediante el cumplimiento de los mínimos de fabricación.

Resultado: Para todos los artículos se logra que el mínimo de compra sea mayor o igual que el mínimo teórico.

Ver anexo 4

Objetivo: Generar el plan maestro anual de abastecimiento que satisfaga la demanda planificada y que aproveche las ventajas de precios estacionales, descuentos por cantidad, tanto para materia prima y transporte, para los ítems de mayor importancia para la empresa.

Resultado: Se generó el plan maestro anual de abastecimiento. Ver Anexo (1), el cual aprovecha la ventaja de las compras anticipadas, descuentos por cantidad, y busca generar más utilidad operacional.

Objetivo: Reducir los quiebres de inventario, lo que representa un buen insumo para incrementar las ventas y utilidad operacional.

Objetivo: Incremento del fill rate o tasa de capacidad de entrega, que mide la fracción de la demanda que se puede satisfacer sin back orders. (Edward A. Silver, 2011)

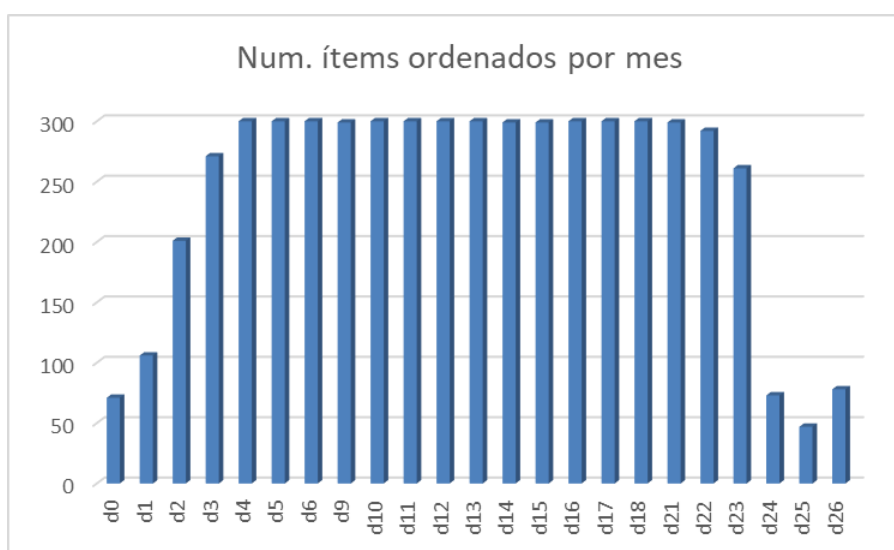
Resultado: La plantilla de inventarios finales por periodo obtenida como resultado de la optimización, muestra saldo positivo de inventario durante todos los periodos planificados. Este saldo de inventario incluye el inventario de seguridad definido durante la planificación. El que permite conservar un nivel de servicio adecuado, considerando también la variabilidad de la demanda durante el tiempo de reabasto.

En el escenario inicial, más del 30% de ítems presentaba por lo menos un quiebre de inventario durante un año de observación.

Ver anexo 2.

Objetivo: Balancear el número de artículos ordenados por mes delimitados por la capacidad operativa tanto en emisión de órdenes de compra y recepción de mercadería por mes (300 ítems). A continuación, se detallan el número de órdenes generadas por periodo resultante obtenido mediante optimización matemática.

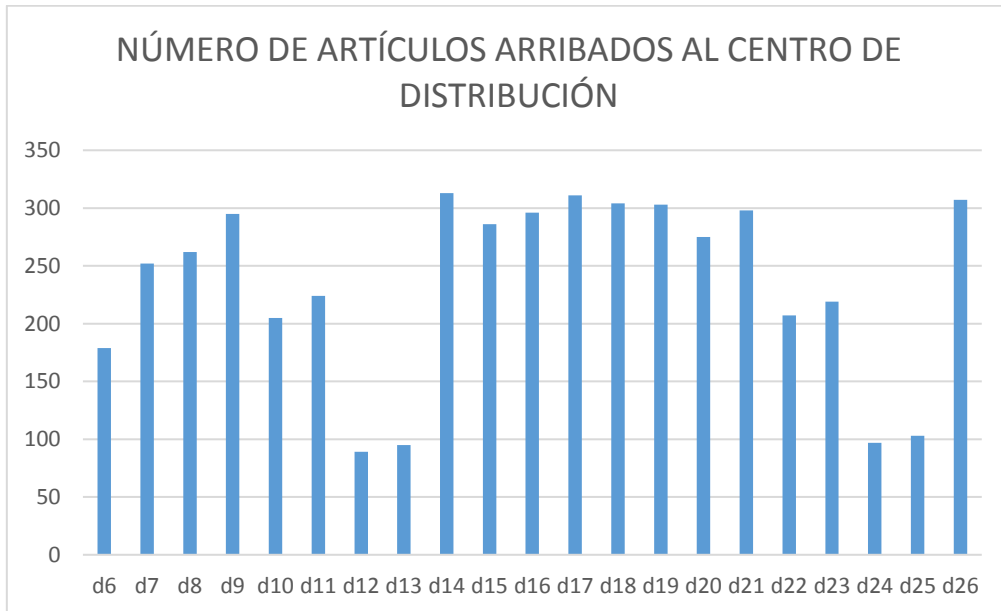
Ilustración 3. Número de ítems ordenados por periodo.



Fuente: Elaborado por el autor.

Los arribos de mercaderías por periodo se detallan en el siguiente gráfico:

Ilustración 4 Número de artículos arribados al centro de distribución.



Fuente: Elaborado por el autor.

Resultado: Claramente se observa que en ningún periodo se sobrepasa la capacidad administrativa y operativa definida, tanto en la generación de órdenes de compra, como en los arribos al centro de distribución. Con ello, se elimina la necesidad de contratación de personal eventual adicional para solventar temporadas con exceso de recepciones de unidades TEUS, aprovechando de mejor manera el recurso humano ya disponible en el centro de distribución.

En la tabla siguiente se muestran el número de órdenes lanzadas durante el horizonte de planeamiento.

En el 56% de los ítems se realizan 5 o más pedidos durante el horizonte planeado.

Tabla 13: Número de órdenes lanzadas por ítem.

CANTIDAD DE ORDENES	NUM. ITEMS	CANTIDAD DE ORDENES	NUM. ITEMS
4	95	10	30
5	82	11	19
6	52	12	16
7	40	13	27
8	34	14	31
9	31	15	143
Total	334	Total	266
TOTAL GENERAL			600

Fuente: Elaborado por el autor.

**Tabla 14: Número de ítems ordenados
por periodo.**

PERIODO	NUM. ÍTEMS ORDENADOS	PERIODO	NUM. ÍTEMS ORDENADOS
d0	71	d14	299
d1	106	d15	299
d2	201	d16	300
d3	271	d17	300
d4	300	d18	300
d5	300	d21	299
d6	300	d22	292
d9	299	d23	261
d10	300	d24	73
d11	300	d25	47
d12	300	d26	78
d13	300		

Fuente: Elaborado por el autor.

4.2 Calendario de lanzamiento de órdenes $b(k,i)$

Se generó el siguiente cronograma de lanzamiento de órdenes, identificados claramente con los valores asignados a la variable binaria $b(k,i)$:

$$b(k,i) = \begin{cases} 1, & \text{Si se ordena el producto } k, \text{ en el inicio del periodo } i. \\ 0, & \text{si no.} \end{cases}$$

VER ANEXO 1

4.3 Tamaño de orden por periodo.

Las cantidades a ordenar por producto obtenidas mediante optimización matemática, se detallan en el

VER ANEXO 2.

4.4 Inventario final s (k, i): unidades del producto k al final del mes (i).

Los niveles obtenidos de inventario final para cada artículo y cada periodo se detallan en el ANEXO 3.

Es muy importante notar que, en todos los periodos planificados, se lograron niveles de inventarios positivos, sin quiebres de inventario.

4.5 Coeficientes de rotación de inventario obtenidos

Se obtuvo la siguiente distribución de coeficientes de rotación anuales:

Tabla 15: Conteo de ítems por intervalos de rotación.

ROTACIÓN ANUAL	NUM. ÍTEMS.
MENOR A 2	93
ENTRE 2 Y 3	164
ENTRE 3 Y 4	180
ENTRE 4 Y 5	124
ENTRE 5 Y 7	38
MAY QUE 7	1
Total general	600

Fuente: Elaborado por el autor.

4.6 Beneficio económico del proyecto

El Beneficio económico del proyecto se puede cuantificar en base al aporte generado a través de dos fuentes:

- 1) Reducción de espacio de almacenamiento: Se logra reducir el almacenamiento.

Tabla 16. Beneficio monetario por reducción de almacenamiento.

CONCEPTO	VALOR
REDUCCIÓN DE ALM. EN CBM	1,781
COSTO DE ALMACENAMIENTO (USD/CBM)	\$4
BENEFICIO OBTENIDO	\$7,639
BENEFICIO ESTIMADO ANUAL	\$91,671.96

Fuente: Elaborado por el autor.

- 2) Inversión adicional generada con recursos liberados de capital de trabajo por reducción de almacenamiento.

Tabla 17. Beneficio monetario por liberación de capital de trabajo.

CONCEPTO	VALOR
REDUCCIÓN DE INVENTARIO (USD)	\$7,120,703
TASA DE RENDIMIENTO BANCARIA.	7.5%
BENEFICIO ESTIMADO ANUAL	\$534,053

Fuente: Elaborado por el autor.

Se estima que el beneficio total del proyecto bordee los \$625,725 USD anualmente.

El beneficio anual obtenido en comparación con los gastos operativos de la división mayorista (5.400.000) representa una reducción del 11 %

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones

- La ejecución del calendario maestro de abastecimiento genera una reducción de almacenamiento de **un 39%**, lo que da lugar a un ahorro anual estimado que bordea los \$91,671.96 USD.
- La ejecución del calendario maestro de abastecimiento genera una liberación acumulada de capital que bordea **\$7,120,703 USD**.
- El beneficio económico del proyecto, se puede estimar en **\$625,725 USD**, fruto del beneficio económico de capital liberado y a la reducción de costos de almacenamiento.
- Se confirma la validez de la hipótesis planteada. El modelo matemático logra eliminar los quiebres de inventario en los artículos modelados y mejora significativamente el desempeño de la cadena de abastecimiento.
- Se elimina la necesidad de contratación de personal eventual al no sobrepasar la capacidad operativa regular, tanto para la cantidad de ítems recibidos mensualmente, como para la cantidad de ítems incluidos en órdenes de compra dentro del mismo periodo.

5.2 Recomendaciones

- Como complemento administrativo, se debe desarrollar un módulo de simulación que permita definir los parámetros de inventario de seguridad que se ingresan al modelo, para lograr un balance entre nivel de servicio requerido y capital de trabajo invertido.

- Uno de los aspectos que más influye en lograr una rotación adecuada de producto, es el mínimo de compra. Existen varios artículos en los que el mínimo planteado solamente permite realizar una o dos compras anuales. Para estos casos, se sugiere al departamento de compras revisar si es conveniente que estos artículos formen parte del portafolio de productos de la empresa.
- Definir políticas de margen y que respondan al nivel de almacenamiento promedio y rotación del artículo. Es decir, si un artículo necesariamente debe permanecer en inventario, el margen que se espera obtener debería ser mayor que un artículo de alta rotación de inventario.
- Los parámetros que se ingresan al modelo deben evaluarse mensualmente por el área de planificación.

6. Referencias

- Anderson, D. R. (2008). *Estadística para la Administración y Economía*. México D.F.: Cengage Learning Editores S.A.
- Ballou, R. H. (2004). *Administración de la cadena de suministro. Séptima edición*.
- Cabezas, X. A. (2014). Problemas del milenio : P vs NP. *Amarun*, 1-14.
- chopra, M. (2008). *Administración de la cadena de suministro*. Pearson Educación.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., & Rivest, R. L. (2010). *Introduction to Algorithms*.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., & Rivest, R. L. (2010). *Introduction to Algorithms*.
- Durán, Y. (enero-junio, 2012, Universidad de los Andes Mérida, Venezuela). Administración del inventario: elemento clave para la optimización de las utilidades en las empresas. *Visión Gerencial*, pp. 55-78.
- Edward A. Silver, D. P. (2011). Edward A. Silver, Diane P. Bischak (2011). The exact fill rate in a periodic review base stock system under normally distributed demand. *Omega. The International Journal of Management Science* 39., 1.
- García, C. O. (2008). Modelos de control de inventario en las Pymes. *Revista Panorama. Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano*.
- Granja, D. I. (2019). *PHPSimplex*. Obtenido de PHPSimplex: http://www.phpsimplex.com/teoria_metodo_simplex.htm#
- Hiller, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to operations research*. USA: The McGraw-Hill Companies.
- Izar, J. M., & Méndez, H. (2013). Estudio comparativo de la aplicación de 6 modelos de inventarios para decidir la cantidad y el punto de reorden de un artículo. *Ciencia y tecnología* 13, 217 - 232 .
- Merino, V. M. (Noviembre 2017). Pronostico y planeacion avanzada de la demanda. *Pronóstico y planeación avanzada de la demanda*. (pág. Pág. 33). Guayaquil: The bottom line (TBL Group Company).
- Porter, M. E. (1987). *Ventaja Competitiva*.

- Render, Barry. (2009). Principios de administración de operaciones. En B. Render, *Principios de administración de operaciones*. (pág. 335). Pearson Educación.
- Vidal. (2013). *Algoritmos Heuristicos en Optimización*. Santiago de Compostela.

7.2 Anexo 2: Cantidad a ordenar del producto k durante el periodo i. x (k,i)

ITEM	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d21	d2	d2	d2	d25	d2		
prod01			30,818					31,467					37,817					26,000							
prod02		3,500	3,500		3,979	3,500	10,078	3,500	3,500	4,443	3,500		5,345		3,874	3,500	9,409	3,500							
prod03		5,528										5,000									5,000	5,000			
prod04			435		354		496	360		300		330		317	300		420	346			300				
prod05			6,634		6,500	6,500	11,466	6,500	8,233		7,457	6,500	7,097		6,500	6,500	10,704	6,500							
prod06		10,000					10,542			13,274								11,476							
prod07			50,168						50,000				50,000												#####
prod08	317				200		275		480								300								
prod09		6,226						1,998	1,642		1,852		5,097								4,500				4,500
prod10			1,500		1,500										1,524		2,463	1,500				80			80
prod11			80								112														
prod12		15,000					16,564		16,024				15,000					16,683							
prod13		1,500		1,500	1,964		3,579	2,477		1,500	1,500	1,500	1,953		1,700	1,500	2,695	1,500							
prod14	418	235				415		200	200	200	382	285					491	200							
prod15			539	1,025	888	621	2,595	500	516	853	1,105	1,018	792	643	658	601	2,520								
prod16	43,393	59,248		31,232	140,082		428,106	32,254	43,253	54,085	80,659	44,028	30,033	39,040	35,102		45,732	15,518							
prod17	3,400							3,604									3,400								3,400
prod18	120,000																	420,000			#####	#####			
prod19			4,500		5,279		7,691	7,452			5,987	4,500		5,392		7,632	4,500								
prod20					19,470		89,845	26,854	25,776	21,860	29,737	25,072	28,539	25,367	19,565	24,712	92,075	30,467	#####						
prod21		1,875	2,348	1,768	1,389		5,451	1,383	1,660	1,860	2,157	2,354	2,414		1,200	4,839	1,282								
prod22		3,719	2,928	2,521	3,166		5,077	2,720	1,831	1,569	1,508	2,278	1,831	1,646	3,301	4,512	2,245								
prod23				9,482	29,433		71,881	16,855	34,405	12,851	24,633	21,209	27,055	27,043	27,801	75,098	13,500	41,352	#####						
prod24				8,930	18,898		55,254	12,683	26,464	13,155	12,398	18,545	21,373	21,171	23,528	59,954	12,224	30,310	#####						
prod25			3,160				2,955								3,468							2,800	2,800		
prod26		1,952	1,610	1,200	1,200	1,223	1,437	1,751	1,934	1,649		3,810	2,673		1,200	1,360	1,437	1,751							
prod27					5,719	20,191	65,027	17,950	19,986	37,787		20,784	20,122	28,049	22,780	22,472	68,689	18,163	21,394	#####					
prod28		2,731									2,917								2,600			2,600			2,600
prod29				21		86		45	50	48				51		102		45							
prod30		279,430		423,842	566,358	363,787	573,074	343,957	421,895	600,716		245,592	321,982	830,249		353,576		86,196	#####	#####					
prod31			4,820				4,499	4,911			4,200		4,449		4,200	4,200		1,800							
prod32			2,073				1,854											1,800							
prod33	11,887	218,788	190,570	160,162	200,269		135,975	60,375	240,872		145,422	273,384	238,185	188,778	213,686		127,094	61,219							
prod34				6,338			10,594	6,213		5,500	7,501		7,662		5,535		12,465	6,428			5,500				
prod35	725							739								500									500
prod36	16,424	21,610		15,515	35,218		27,224	19,609	16,815	15,209	10,816	6,407	7,005	19,393	8,823		10,830	10,112							
prod37			143,652	248,425	395,435	52,800	428,181	61,206	143,419	134,588	174,603	254,278	349,263	278,956	475,244		396,952	53,458							
prod38	223	81	91		80	106	421	121		134	199	102	113		107	142	616								
prod39		384,610		304,400	371,950	303,833	427,187	206,469		273,256	315,869	363,378	227,150	321,600	432,933	264,911	380,109	88,325							
prod40	4,775		4,400		6,413		7,969	5,879		4,400		5,448			4,452		5,474	4,400							
prod41	4,000						4,352				4,000						4,000								
prod42	21,844	17,358	27,967	24,948			91,314	75,263	49,661	35,172	13,760	21,698	34,959	31,185		25,222	36,179	57,726							
prod43		1,039	119		74	98	365	195	193	316	123	1,303	148		91	121	455	344							
prod44				41,753	469,288	374,118	1,100,000	365,969	341,169	342,141	439,075	306,859	199,516	192,756	541,859	561,296	1,100,000	374,448							
prod45		2,985	2,195		2,102	1,200	10,321	2,487	4,346	5,312	4,138	3,147	2,195		2,102	1,200	10,321	2,487							
prod46	38,541		138,537		37,368	48,864	156,591	99,102	35,607	33,080	49,744	151,588	21,603	46,710	23,580	131,947	62,455								
prod47			192,000	221,331	275,180		389,015	207,778		192,000	192,000	227,752	261,881	283,500	290,725		417,304	192,000							
prod48	92	49	41		107		241	238		63	63		20	61	51	138	85	405							
prod49						39		32					45	66		75		232			88	60	62	50	
prod50	2,373					2,597		2,256			2,000				2,000	2,046		2,000							
prod51							1,972	1,166	752	535		676	1,239	1,394	1,198	629	2,833	1,410		835	500				
prod52	160,756	449,238	247,913		314,938	595,750	639,031	330,481	333,440	332,698	368,791	730,813			338,834	720,888	716,427	376,152							
prod53				2,451			3,071	2,000		2,577					2,000		2,707	2,313							
prod54					3,484	8,180	28,167	9,961	9,481	16,601		10,164	9,998	13,342	9,888	8,833	30,348	10,397	9,602	9,795					
prod55		256	223	129	258	212	1,152	257	317	332		363	439	343	282	1,496	322								
prod56						222				37	44	33	36	121		222		35	48	29					7
prod57			185,263	126,100	180,035	81,075	233,706	107,781		64,388	100,288	106,294	226,525	131,525	218,794	100,709	254,795	35,266							
prod58		16,000					16,928		16,000			16,000					17,953								
prod59	123	24	45				160	104		204	125					197		106							
prod60			3,500		5,185		8,613	3,952	3,834	4,951	5,161	4,245	3,500	6,042		10,761	3,838	3,757	5,278						
prod61	412	107	46		297	554	829	403		68	137	191		372	693	641	431								
prod62	5,000		6,544					7,816				5,000		5,000											
prod63			3,885				3,883		3,464		3,132		2,800		2,800		3,669								
prod64	67,396	17,511		12,501	85,003	2,502	74,394	26,892	51,260	48,137	141,264	21,889		15,626	21,881		30,492	21,114							
prod65				138				34	65			61		45		105		29	30	32					
prod66			14,793				19,091	13,964			12,836		12,746		11,500		12,359	11,500							
prod67	270,150		178,825		216,525	166,400	368,388	118,406	158,950	174,725	126,031	125,250	223,081		270,656	208,000	442,234	127,883							
prod68		4,326			5,404	3,800				859,136					3,800		7,169	3,800							
prod69		810,000			810,000							905,769					934,918								

ITEM	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d21	d22	d23	d24	d25	d26	
prod81			20,000			20,000	23,165			29,956			20,318		22,076		27,251							
prod82		26	41	38	36	188				31	44	108			45	44	126			46				
prod83		4,549							5,813						4,400								4,400	
prod84		3,200							4,252					3,468					3,200					
prod85	30,242		27,864	13,797	16,506		20,383	73,117	43,325	55,682	29,638			34,829	17,246	20,632		5,891	35,168	48,912				
prod86	312	48	16	200	372	525	291		106		176			250	465	712								
prod87		1,476								1,566							1,400				1,400			
prod88		591					568	500			842						764							
prod89			15,648			14,500	20,052	16,774		18,193	17,451			14,500		14,500		16,497	14,500					
prod90	12,627				80	13,480	4,495		30	4,359				19	30		74	13,480	4,000					
prod91		37,846					42,620	37,500			39		50,865						46,567	37,500	14	14	21	
prod92																								
prod93	256,000				256,000			256,000				256,000				256,000								
prod94		2,500						2,500							2,500						2,500	2,500		
prod95	45,953		83,779		82,875	62,325	114,370	45,106		60,848	81,859	45,725	53,188	51,531	103,444	77,906	135,704	14,766						
prod96		4,355							3,446						3,200								3,200	
prod97					92	101	336	172	145		145	174	166	146	159	110	395	182	71	62				
prod98		4,818						4,200							4,200								4,200	
prod99				979	928	1,062	4,286	937	868	1,646	1,368	1,896	1,657	1,358	1,160	899	4,587	1,171						
prod100		2,000	2,341				4,949	3,521		2,000	2,112	2,084	2,232		2,000	2,000	3,612	2,000						
prod101	178	262		189	138	112	327		396	52	125	193	131	100	159	478								
prod102		800						800					800										800	
prod103	5,000				5,000			6,332									6,235							
prod104	148,575			5,001	113,334	2,502	313,792	35,013	215,073	62,509					6,251	37,778	628	94,740	26,267					
prod105					159			161							36	48	173			30	30	31		
prod106			4,000		4,292		7,322	4,000	4,325		4,652		4,000		4,431		6,652	4,000						
prod107					1,178												1,000					1,000		
prod108			5,886		6,161	3,315	16,740	4,248	6,681	5,441	8,756	5,901	4,628	3,000	7,154	3,264	15,455	4,918						
prod109					5,636		4,088								4,000	4,000	4,000					4,000		
prod110				1,000	2,934			4,889	1,027	1,510	1,679	2,122	2,037	2,304	1,997	3,704		4,942	1,000	1,533	1,818			
prod111			40,000					40,000			57,649						47,889							
prod112				3,628		2,691	9,156	2,403	2,439	5,578			3,318	3,432	5,138	3,559	2,926	9,788	2,510	2,549	3,255			
prod113	1,040,000				1,040,000			1,040,000					1,040,000				1,040,000							
prod114			1,556			1,500	1,500		1,890				1,816			1,500		1,897						
prod115		1,400							2,905											1,400	1,400			
prod116					89,557			185,749	85,482		85,709			104,327		74,000		159,855	97,226		74,000			
prod117					500			814	547				500		631		984	500						
prod118		11,371	381,500	303,500	274,088	250,750	618,188	214,497	443,288			283,375	404,625	321,625	388,672	287,338	678,735	262,724						
prod119			1,400		1,415		4,239	1,400	1,400	1,400	1,400	1,400	2,160	1,593	1,465	1,988	4,308	2,400						
prod120	3,566				1,413								1,911				1,366							
prod121		19	12	15	28	142			36			94			42		133							
prod122		15,000					16,664		16,024						15,000			16,683						
prod123				541		500	1,110	619	603		500				684		1,158	611						
prod124						16,664			16,024						15,000			16,683						
prod125					6,516	2,473	26,548	8,661	6,253	6,170	5,556	9,850	7,001	5,428	10,700		26,548	8,661	6,253	6,170				
prod126			1,071			1,106				1,000					1,669									
prod127		295,663		438,013	224,350	630,113	272,855	385,111	427,806	509,338	543,375	308,169	227,297	497,828	256,188	702,191	246,295							
prod128		34	37	252				143		123	87	115			171	37	70	85			97	143	123	
prod129		15,000					16,564		16,024						15,000			16,683						
prod130		4,400	8,017	8,611	20,787		10,964	13,453	15,514	9,976	14,900	14,199	10,940	9,819	23,677		10,596	13,225						
prod131			3,657				3,000		3,000								3,612							
prod132			69,429			76,600							62,500		67,244		79,850			78,241	62,500			
prod133				23	172		78,213	72,425				29			52									
prod134					35,071							30,000		72		30,000		137		36,689			30,000	
prod135			33	21		73			46					73						25	21	35		
prod136	54,686	119,125	93,300		198,200		552,325	409,800	189,919	104,266	243,719			78,625		247,750		690,406	512,250	237,398	130,332			
prod137				9	28	212									40		63				12	23	15	
prod138				10	17						11			18							11		10	
prod139					2,859			2,600		2,600						2,600		2,600	2,600					
prod140					115,000		178,103	115,000	115,000	141,066			115,000	170,838		115,000	193,644	115,000	126,283	115,000				
prod141				16						30			47											
prod142					20,500				22,467									23,535						
prod143					4,853										4,887									
prod144				15	23	116			66		101				44		139							
prod145							336,114	393,863		313,000			329,911		313,000		426,703	402,978		41	23			
prod146		3,610											2,137					2,000						
prod147		1,315				1,609		1,000	1,000	10,000	1,176		11,828	1,005	1,000	1,000	2,000	1,073		1,080				
prod148			10,000				15,376	10,472										16,230	10,552				10,000	
prod149			16	23	99				20	33	77				40		88							
prod150				17	22	114				19	97					18	88							
prod151					5,585				4,817						4,800			4,800						
prod152					2,807	2,524	12,533	3,842	2,302	2,790			4,714	5,523	5,491	4,336	2,555	14,409	4,165	3,197			4,800	
prod153					33,646	50,775	193,363	51,500	61,538	53,694	52,988	80,356		77,888	57,975	52,894	205,653	64,375	50,822	47,292				
prod154					2,000		2,000	2,000					2,000			2,714		2,361	2,102					
prod155				5		46																	5	
prod156					127				17			47					25	130						
prod157		130			72	115	109	286	156			56	151	231		89	143	136	357	133	132			
prod158					2,000					21		2,029									2,000		2,000	
prod159						37						73												
prod160			13	59		77				56</														

ITEM	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d21	d22	d23	d24	d25	d26	
prod161			500							506						500							500	
prod162					2,195		7,936	3,004	2,417	2,371	2,464	2,806	2,652	3,456	2,862	1,836	8,081	3,309	2,505	2,270				
prod163						26						15				25								
prod164					1,600					1,760								1,600					1,600	
prod165					2,500	4,268	3,666			2,500	4,195		3,742		3,601		6,365	3,739				2,500		
prod166				10	47				18		43					49				20				
prod167	153	1,056	687	611	1,083	393			589	459	1,320	490	369	763			1,412	513				736		
prod168			173	77	245		234	134		34	157	122	119	71	157	535				74		42		
prod169				159		192			225					108	54	192					139		26	
prod170			2		22						14				23					5				
prod171	2,158		1,928		1,600	2,323	11,601	1,600	2,063		1,600	1,867	1,600	1,867	1,600	2,323	11,601	2,415				1,600		
prod172						96	624	221	168	191	186			199	284	105	634	260	162	201				
prod173			3,781								4,032			3,510									3,400	3,400
prod174			67	326	461	452	1,332	812	766		456			327	446	416	1,002	473	560					
prod175					9	49			14	45				62									15	
prod176				20	11	106			43		57			39	48		107					15	20	
prod177				24,500	37,330		115,909	32,084	30,998	24,500	43,577		24,500	26,583	43,553	24,500	93,511	30,017	35,810	24,500				
prod178	54		255		177	248	1,272		154	381	237		255		177	248	1,181		92	154		381		
prod179				62	70	123		144		98		101		101		101		70	123		52	93	49	
prod180				26,958	55,438	29,500	129,625	26,375	51,713	94,859		32,422	133,672		59,422		33,313	151,281	31,719	64,096	40,703			
prod181				15		54				18									20					
prod182				16		20	28.63			41		37		53						18		27		
prod183			7.00				305,046				54.44		312,932				322,011		309,370					
prod184								320,606																
prod185			1,400				1,400	1,878					1,400				1,626				1,400			
prod186				23,760	20,013	60,009	37,569		13,138	11,258	20,004	20,005	45,006	14,383	7,516	70,011	9,462		6,422	9,072				
prod187				10,155	33,452	121,300	37,525	25,875	15,469		30,850		15,625	47,275	47,250	36,113	135,500	46,906	32,344	19,336				
prod188					3,094	2,355	9,105	3,296	2,200		2,200	4,129	3,224	4,185	4,124	2,541	9,766	3,241	2,302					
prod189		4,200				4,200			4,200			4,318				4,200				4,651		4,200		
prod190			13		15	118						28		24		15			43		16			
prod191				26		110			37	38		21	57			60			34		15			
prod192					32,500	50,932	245,322	60,500	53,428	44,794	107,978	103,694	121,913	122,425	131,594	83,000	259,527	62,875	81,995					
prod193				133	171	156	488		132	276		327	278	299	296	149	192	571	151	303				
prod194				4,128								4,619										3,200	3,200	3,200
prod195				65,000			109,228	118,480			87,084				76,092			107,048	65,000	65,000				
prod196	19				41					28							30			12				
prod197				8	18	101								21		18	74			13				
prod198					1,675	1,637	5,177	2,809	782	1,338		871	3,918	3,062	2,557	2,046	5,606	3,310	671	833				
prod199						3,500											3,500				3,500		3,500	
prod200				33		224				30	43	76			38					39		30		
prod201				19					36							13				7				
prod202						15						13					24			0		6	6	
prod203					124	191	456	201	162	136	70	118			171	184	202	439	233	196	170			
prod204					500		500		500		500					559			500					
prod205			10		24				18			23								11				
prod206			629	1,717	1,234		1,646	423	1,069	1,288	1,504	1,580	1,610	1,902	1,534		2,058	1,524				1,093		
prod207			10,000						12,033								10,000						10,000	
prod208					2,545	2,000	5,014			3,101			2,000	2,244	3,146	2,000	5,014						2,000	
prod209	7	556	552		260	1,235	657	487	1,064	635			689	586			780	455	426	712				
prod210					435	495	1,387	283	442	612	873	541	565	528	495	1,387	283	250	192					
prod211				49	35	195		44	46	47		70	99	35	178		380	147	122	100				
prod212					3,611	2,500	11,930	4,230	3,814	2,676	3,410	5,215	3,767	6,030	6,676		13,701	4,043	4,002	3,015				
prod213			13		76										12				13					
prod214	2,034						1,600		39	1,600							1,600						1,600	
prod215					24	132					35		39			18	103			22		15		
prod216	399		152	246		118	869	205	235	315	322		189	308		597			167	222	318			
prod217				662				613				544				586				500				
prod218			500	978		717	675	1,157	500	500	500	889			690			844	500	500	500			
prod219	55	12	77	27	45	27	274		27	13	58	16		96	34	25	308							
prod220					7	31			8												13			
prod221					9	35			21					52										
prod222			8,000					6,000				7,133						7,504					6,000	
prod223					208	261	664	148	125	215	369	272	264	247	208	261	664	273		215				
prod224					22	122			21	116				44	36	113			34	21	39			
prod225					87		320	123	124	92	109	86	103	91	196			380	147	122	100			
prod226					36,224	148,625	84,500	310,875	98,577	80,813	154,219		200,063		106,657	165,531	91,375	307,719	96,721	81,766	83,305			
prod227					548				647						561					500				
prod228				38			62		13	16	69		47			78					17	17		
prod229					12		222	74		39	61		19			222			74					
prod230					3,886		3,725				3,200	3,200	5,606	3,200	3,677				3,200					
prod231				23			97			37			30				78			29				
prod232					64	371	97	427		17	701	590	152		91	371	97	427					17	
prod233					3,044								2,891								2,800	2,800	2,800	
prod234			13		11	43			10		34				14	53				12		500		
prod235	1,028						500	738		902				500				500	624					
prod236	7		7		23				42											17				
prod237	3,696						5,933	2,443	3,668			2,200	2,200					7,386	3,053	4,303				
prod238					15		92		40		57													
prod239	49	15	42	29	42	11	280	85		134		19	52	89		272				48	71			
prod240	113	89	119		51	56	313		236	158	209	150			174		69	352		286	195			

7.3 Anexo 3: Inventario final s (k, i): en unidades del producto k al final del mes (i)

ITEM	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d19	d20	d21	d22	d23	d24	d25	d26	
prod01	44,412	34,487	25,232	25,697	22,542	19,048	44,419	37,668	34,846	28,995	25,731	20,576	15,853	35,152	28,583	24,164	20,220	15,853	48,890	41,204	37,960	31,046	27,408	21,453	15,853	27,662	19,546	
prod02	28,116	24,802	21,436	19,740	15,790	8,890	9,533	9,385	6,888	6,788	7,297	13,649	10,086	6,788	7,260	7,396	7,168	7,038	9,218	6,788	6,788	7,564	13,528	10,095	6,788	7,141		
prod03	4,780	3,941	3,402	2,372	1,930	2,565	6,128	5,529	5,151	4,657	4,643	4,381	4,088	3,588	3,166	2,390	1,899	1,596	5,300	4,551	4,079	3,713	3,446	3,118	2,727	2,121	1,600	
prod04	1,454	1,276	1,124	969	825	1,372	825	1,004	855	1,245	1,305	855	995	855	1,000	873	1,044	865	855	980	862	1,158	1,054	855	1,001	855	1,000	
prod05	42,269	37,697	32,521	28,197	23,891	15,982	9,514	11,278	7,400	7,672	10,076	15,688	11,777	7,400	8,846	12,418	7,400	7,400	8,788	11,224	7,400	7,714	10,417	15,649	11,828	7,400	8,597	
prod06	18,145	15,425	12,361	10,338	8,712	13,823	11,172	9,198	7,646	5,537	11,200	9,905	6,828	4,770	16,567	13,362	11,457	9,767	8,529	6,417	4,770	13,648	10,620	7,600	7,649	7,400	6,970	
prod07	71,490	67,787	56,787	56,788	34,844	30,669	68,795	58,974	57,016	36,427	37,382	35,333	29,078	23,544	20,370	19,139	16,437	32,252	21,210	61,380	49,172	39,997	37,748	34,944	28,962	28,530		
prod08	437	418	388	328	243	515	465	440	410	505	440	505	440	410	780	745	685	615	520	460	510	480	460	410	378	485	445	
prod09	5,815	2,879	2,370	1,976	1,623	1,800	7,226	6,649	6,140	5,236	4,724	3,188	2,734	2,296	1,589	1,286	6,056	4,984	4,888	4,080	3,173	2,538	2,168	1,820	1,505			
prod10	6,796	6,016	5,142	4,337	3,477	2,482	1,684	2,359	1,712	2,235	1,686	2,880	2,152	1,426	2,076	1,218	2,097	1,218	2,057	1,888	1,218	1,257	1,218	2,882	1,957	1,218	899	
prod11	81	75	70	64	60	48	39	30	27	79	72	64	57	50	42	37	134	123	99	92	84	73	64	53	44	36		
prod12	31,610	27,597	23,633	20,225	15,990	11,003	22,875	19,519	16,909	12,423	8,509	20,607	16,688	12,505	8,086	20,078	15,814	10,909	8,086	20,406	17,905	13,340	9,243	20,954	16,863	12,453	8,786	
prod13	9,946	9,227	8,208	7,245	6,183	3,917	3,933	2,649	3,179	3,388	2,452	5,656	3,551	2,452	3,780	2,452	2,626	2,474	2,704	3,451	2,452	3,050	4,363	3,170	2,452	2,373		
prod14	1,181	1,124	1,004	804	681	655	784	743	703	655	808	764	727	665	706	656	707	655	808	765	714	655	819	763	724	655	669	
prod15	7,975	6,608	6,335	5,790	4,009	2,794	3,569	2,474	2,474	2,474	2,474	3,964	2,783	2,474	2,137	2,474	1,474	2,474	2,474	4,281	4,274	4,274	4,274	4,274	4,274	4,274	4,274	
prod16	342,746	288,232	258,678	223,448	180,168	102,714	126,740	102,714	102,714	102,714	153,219	123,545	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	102,714	
prod17	3,859	3,608	3,191	2,421	1,558	4,264	3,785	1,695	3,637	3,847	2,627	2,164	1,852	1,484	4,710	3,966	3,074	2,391	1,868	1,766	1,688	1,386	3,991	3,454	3,087	2,711	2,338	
prod18	27,953	24,940	23,991	21,413	15,965	138,964	125,215	120,000	116,222	111,662	100,662	81,567	80,262	76,844	75,577	73,039	69,667	67,113	62,396	64,135	42,710	36,346	31,513	11,846	11,846	11,846	11,846	
prod19	19,434	17,694	15,764	13,565	11,711	7,655	5,335	7,557	5,370	7,235	5,136	9,587	6,789	5,136	10,195	7,446	5,136	7,543	5,202	6,983	5,136	4,984	6,564	5,136	5,136	5,136	5,136	
prod20	221,731	196,186	173,213	140,015	115,990	83,388	57,505	42,367	40,941	30,796	72,981	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	40,941	
prod21	14,098	12,074	10,968	9,480	8,124	6,424	4,629	4,846	4,629	4,846	4,629	4,846	4,629	4,846	4,629	4,846	4,629	4,846	4,629	4,846	4,629	4,846	4,629	4,846	4,629	4,846	4,629	
prod22	16,807	15,245	13,609	11,604	9,349	9,142	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	7,128	
prod23	197,686	163,886	148,179	130,740	107,340	66,638	45,836	56,575	45,836	100,500	77,155	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	45,836	
prod24	143,809	119,213	105,531	91,018	73,169	49,711	35,538	32,507	60,575	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	35,538	
prod25	3128	2,922	2,611	2,416	1,972	1,657	1,335	4,023	3,717	3,168	2,705	2,107	1,603	1,233	3,799	3,556	3,000	2,607	2,204	1,654	1,233	4,049	3,442	2,938	2,434	1,930	1,426	
prod26	11,073	10,752	9,902	7,968	5,798	5,419	3,551	3,551	3,598	3,765	3,551	4,229	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	3,551	
prod27	162,770	144,933	126,752	109,971	90,327	71,763	46,847	31,838	31,838	69,551	54,139	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	31,838	
prod28	1891	1,694	1,370	756	3,343	3,042	2,078	1,916	1,467	1,981	1,184	887	663	2,965	2,821	2,500	2,381	2,323	1,556	1,394	946	760	663	3,066	2,741			
prod29	297	266	222	172	146	124	82	78	155	153	128	78	155	128	78	155	128	78	155	128	78	155	128	78	155	128	78	155
prod30	3,664,259	2,681,743	1,770,414	1,446,370	1,222,726	1,276,140	1,276,140	1,276,140	1,276,140	1,680,434	1,479,045	1,276,140	1,276,140	1,276,140	1,499,444	1,276,140	1,276,140	1,276,140	1,276,140	1,415,982	1,321,271	1,276,140	1,276,140	1,276,140	1,276,140	1,276,140	1,276,140	
prod31	11,526	10,888	10,335	9,797	9,259	8,721	8,183	7,645	7,107	6,569	6,031	5,493	4,955	4,417	3,879	3,341	2,803	2,265	1,727	1,189	1,189	1,189	1,189	1,189	1,189	1,189	1,189	
prod32	2,028	1,817	1,555	1,555	1,555	1,555	2,529	2,529	2,529	4,247	1,985	1,422	1,209	2,735	2,473	2,473	2,473	2,473	1,374	1,374	1,319	1,020	2,630	2,086	1,737	1,526	1,364	
prod33	910,402	885,532	757,952	530,694	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	421,244	
prod34	34,059	30,033	25,554	20,440	16,425	11,761	13,605	9,570	13,100	10,356	10,533	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	7,310	
prod35	769	696	652	526	438	3078	957	824	738	641	595	429	315	240	200	799	714	628	490	361	288	200	656	470	346	266	233	
prod36	117,683	105,275	80,888	58,484	35,449	26,860	41,684	36,940	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	26,860	
prod37	1,522,560	1,407,135	1,346,910	1,201,355	1,074,025	897,943	676,130	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	515,652	
prod38	650	628	592	531	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	488	
prod39	1,594,967	1,512,557	1,396,717	1,247,842	1,072,421	724,019	515,810	515,810	515,810	788,297	572,197	515,810	622,979	515,810	632,979	515,810	515,810	515,810	515,810	515,810	515,810	515,810	515,810	515,810	515,810	515,810	515,810	
prod40	13,692	11,711	8,789	7,007	5,329	6,826	9,669	8,303	10,798	6,846	11,406	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	9,324	
prod41	6,935	5,891	5,107	4,176	3,598	4,655	6,624	4,760	4,375	4,006	2,940	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	2,996	
prod42	411,812	343,864	304,078	240,929	184,915	124,915	84,915	54,915	34,915	24,915	14,915	4,915	2,915	1,915	1,915	1,915	1,915											

ITEM	d0	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d19	d20	d21	d22	d23	d24	d25	d26
prod121	208	192	177	161	143	120	78	78	78	78	204	112	112	112	91	78	78	78	152	89	78	196	128	107	89	78	
prod122	19	16	14	12	10	6	7	15	12	9	8	5	31	28	24	22	17	14	11	7	6	5	10	8	5	8	
prod123	2.877	2.547	2.320	2.080	1.602	1.301	841	1.037	690	807	1.482	1.157	690	973	690	993	690	885	1.004	690	1.011	690	1.383	1.062	690	986	690
prod124	21	18	14	11	10	8	6	5	4	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
prod125	40.183	54.329	47.861	42.405	32.856	26.544	20.217	18.415	18.415	39.890	29.028	18.415	18.415	18.415	18.415	18.415	18.415	18.415	18.415	18.415	37.890	29.028	18.415	18.415	18.415	18.415	
prod126	2.696	2.456	2.129	1.917	1.658	1.193	919	1.813	1.645	1.125	745	1.687	1.423	1.165	967	745	1.400	932	1.626	1.405	992	2.214	1.739	1.515	1.271	971	745
prod127	1.197.643	1.014.093	2.694.659	2.325.520	1.000.195	1.466.645	983.395	902.143	782.275	782.275	782.275	1.446.763	936.563	782.275	782.275	782.275	782.275	782.275	782.275	782.275	782.275	782.275	782.275	1.669.684	910.734	782.275	782.275
prod128	810	688	545	488	343	205	485	387	386	377	330	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	280	233	205	205	205	205
prod129	28	25	22	18	15	12	10	9	8	7	22	37	14	10	8	13	10	8	44	39	34	30	24	19	17	13	11
prod130	87.084	82.794	76.522	69.791	47.222	34.152	26.288	21.008	21.008	27.794	21.008	21.271	27.108	21.008	21.008	21.008	21.008	21.008	21.008	21.008	21.008	26.775	21.008	21.008	21.008	21.008	
prod131	6.533	5.345	5.790	4.862	3.564	3.648	1.352	4.433	3.717	3.587	1.642	3.890	3.109	2.530	1.975	4.048	2.742	1.833	4.474	3.488	2.732	1.642	3.309	3.577	2.736	2.197	1.642
prod132	212.100	184.750	153.138	132.450	111.500	88.275	63.905	52.629	59.054	52.329	59.054	116.442	86.692	59.054	97.038	81.067	59.054	95.973	73.010	93.723	59.054	90.273	59.054	123.388	89.326	59.054	89.278
prod133	27.886	68.240	62.376	53.645	48.876	38.334	30.960	52.941	48.378	48.876	38.334	32.645	22.615	18.245	42.940	34.557	29.895	18.305	40.741	26.841	20.938	50.510	43.071	37.960	26.097	21.660	18.245
prod134	158	189	114	92	76	72	81	72	143	121	102	72	22	72	72	91	72	98	84	72	160	133	109	72	72	72	72
prod135	1.068.587	1.445.512	1.353.300	1.082.215	1.082.215	1.094.300	1.018.225	1.069.810	1.018.225	1.532.310	1.424.125	1.018.225	1.018.225	1.018.225	1.018.225	1.074.891	1.018.225	1.050.891	1.018.225	1.018.225	1.018.225	1.018.225	1.515.610	1.018.225	1.018.225	1.018.225	1.018.225
prod136	186	164	148	114	77	45	36	28	218	190	175	166	156	138	125	98	67	36	59	36	77	55	42	36	36	36	36
prod137	28	26	19	15	11	11	19	33	27	25	23	20	18	17	9	15	12	9	24	18	15	12	11	9	19	9	19
prod138	6.383	5.658	5.323	4.727	4.121	3.929	3.295	4.926	4.581	3.624	2.448	3.906	2.999	2.582	4.437	3.679	3.439	2.646	3.712	3.281	4.559	4.109	3.214	4.634	3.618	3.098	3.098
prod139	40.7314	56.589	484.839	408.502	312.352	246.235	271.650	208.500	171.005	257.006	197.806	167.856	194.210	241.263	167.856	174.944	269.975	167.856	219.919	181.825	266.944	199.794	167.856	176.812	167.856	176.778	167.856
prod140	142	108	103	96	56	50	83	78	73	67	63	54	50	57	50	68	64	50	56	50	78	72	66	55	50	55	50
prod141	186	164	148	114	77	45	36	28	218	190	175	166	156	138	125	98	67	36	59	36	77	55	42	36	36	36	36
prod142	28	26	19	15	11	11	19	33	27	25	23	20	18	17	9	15	12	9	24	18	15	12	11	9	19	9	19
prod143	6.383	5.658	5.323	4.727	4.121	3.929	3.295	4.926	4.581	3.624	2.448	3.906	2.999	2.582	4.437	3.679	3.439	2.646	3.712	3.281	4.559	4.109	3.214	4.634	3.618	3.098	3.098
prod144	40.7314	56.589	484.839	408.502	312.352	246.235	271.650	208.500	171.005	257.006	197.806	167.856	194.210	241.263	167.856	174.944	269.975	167.856	219.919	181.825	266.944	199.794	167.856	176.812	167.856	176.778	167.856
prod145	142	108	103	96	56	50	83	78	73	67	63	54	50	57	50	68	64	50	56	50	78	72	66	55	50	55	50
prod146	186	164	148	114	77	45	36	28	218	190	175	166	156	138	125	98	67	36	59	36	77	55	42	36	36	36	36
prod147	28	26	19	15	11	11	19	33	27	25	23	20	18	17	9	15	12	9	24	18	15	12	11	9	19	9	19
prod148	6.383	5.658	5.323	4.727	4.121	3.929	3.295	4.926	4.581	3.624	2.448	3.906	2.999	2.582	4.437	3.679	3.439	2.646	3.712	3.281	4.559	4.109	3.214	4.634	3.618	3.098	3.098
prod149	40.7314	56.589	484.839	408.502	312.352	246.235	271.650	208.500	171.005	257.006	197.806	167.856	194.210	241.263	167.856	174.944	269.975	167.856	219.919	181.825	266.944	199.794	167.856	176.812	167.856	176.778	167.856
prod150	142	108	103	96	56	50	83	78	73	67	63	54	50	57	50	68	64	50	56	50	78	72	66	55	50	55	50
prod151	186	164	148	114	77	45	36	28	218	190	175	166	156	138	125	98	67	36	59	36	77	55	42	36	36	36	36
prod152	28	26	19	15	11	11	19	33	27	25	23	20	18	17	9	15	12	9	24	18	15	12	11	9	19	9	19
prod153	6.383	5.658	5.323	4.727	4.121	3.929	3.295	4.926	4.581	3.624	2.448	3.906	2.999	2.582	4.437	3.679	3.439	2.646	3.712	3.281	4.559	4.109	3.214	4.634	3.618	3.098	3.098
prod154	40.7314	56.589	484.839	408.502	312.352	246.235	271.650	208.500	171.005	257.006	197.806	167.856	194.210	241.263	167.856	174.944	269.975	167.856	219.919	181.825	266.944	199.794	167.856	176.812	167.856	176.778	167.856
prod155	142	108	103	96	56	50	83	78	73	67	63	54	50	57	50	68	64	50	56	50	78	72	66	55	50	55	50
prod156	186	164	148	114	77	45	36	28	218	190	175	166	156	138	125	98	67	36	59	36	77	55	42	36	36	36	36
prod157	28	26	19	15	11	11	19	33	27	25	23	20	18	17	9	15	12	9	24	18	15	12	11	9	19	9	19
prod158	6.383	5.658	5.323	4.727	4.121	3.929	3.295	4.926	4.581	3.624	2.448	3.906	2.999	2.582	4.437	3.679	3.439	2.646	3.712	3.281	4.559	4.109	3.214	4.634	3.618	3.098	3.098
prod159	40.7314	56.589	484.839	408.502	312.352	246.235	271.650	208.500	171.005	257.006	197.806	167.856	194.210	241.263	167.856	174.944	269.975	167.856	219.919	181.825	266.944	199.794	167.856	176.812	167.856	176.778	167.856
prod160	142	108	103	96	56	50	83	78	73	67	63	54	50	57	50	68	64	50	56	50	78	72	66	55	50	55	50
prod161	186	164	148	114	77	45	36	28	218	190	175	166	156	138	125	98	67	36	59	36	77	55	42	36	36	36	36
prod162	28	26	19	15	11	11	19	33	27	25	23	20	18	17	9	15	12	9	24	18	15	12	11	9	19	9	19
prod163	6.383	5.658	5.323	4.727	4.121	3.929	3.295	4.926	4.581	3.624	2.448	3.906	2.999	2.582	4.437	3.679	3.439	2.646	3.712	3.281	4.559	4.109	3.214	4.634	3.618	3.098	3.098
prod164	40.7314	56.589	484.839	408.502	312.352	246.235	271.650	208.500	171.005	257.006	197.806	167.856	194.210	241.263	167.856	174.944	269.975	167.856	219.919	181.825	266.944	199.794	167.856	176.812	167.856	176.778	167.856
prod165	142	108	103	96	56	50	83	78	73	67	63	54	50	57	50	68	64	50	56	50	78	72	66	55	50	55	50
prod166	186	164	148	114	77	45	36	28	218	190	175	166	156	138	125	98	67	36	59	36	77	55	42	36	36	36	36
prod167	28	26	19	15	11	11	19	33	27	25	23	20	18	17	9	15	12	9	24	18	15	12	11	9	19	9	19
prod168	6.383	5.658	5.323	4.727	4.121	3.929	3.295	4.926	4.581	3.624	2.448	3.906	2.999	2.582	4.437	3.679	3.439	2.646	3.712	3.281	4.559	4.109	3.214	4.634	3.618	3.098	3.098
prod169	40.7314	56.589	484.839	408.502	312.352	2																					

ITEM	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	d12	d13	d14	d15	d16	d17	d18	d19	d20	d21	d22	d23	d24	d25	d26	
prod371	629	5758	4809	3889	3154	4249	3510	2935	2355	5397	5735	2925	2197	2355	3363	2438	1694	2355	3558	2307	2367	4697	3998	2798	1573	2355	3355
prod372	5573	4019	3029	2516	2393	2104	1901	2290	1863	3152	3101	2319	1683	1683	2811	2298	2175	1886	1683	2109	1683	3152	3101	2319	1683	1683	2092
prod373	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
prod374	945	605	627	408	310	310	310	310	474	404	354	310	310	310	401	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310	310
prod375	130560	120260	746300	95290	65350	45120	39075	34580	31517	50074	40589	38123	33417	41266	47266	33417	47266	33417	47266	33417	47266	33417	47266	33417	47266	43296	43296
prod376	14	11	7	6	4	16	14	13	12	11	10	9	7	4	11	12	11	10	8	7	6	5	4	3	2	1	1
prod377	1820	1762	1568	1403	1224	1076	881	795	784	1861	1856	1668	1374	1312	1070	878	672	1501	1263	1164	1164	1159	1155	907	1518	1444	1158
prod378	146	116	105	93	80	59	43	38	38	75	65	60	47	38	47	38	49	38	38	77	70	62	56	44	38	45	38
prod379	1306	1621	1742	1656	580	567	567	567	567	716	651	567	674	567	567	567	567	684	567	567	567	684	567	567	567	567	567
prod380	397	345	312	284	177	120	120	120	228	186	165	165	130	120	120	120	120	161	120	215	163	137	120	120	120	120	
prod381	1034	928	780	698	476	387	355	255	255	531	387	255	255	255	255	255	255	328	255	255	255	255	255	255	255	255	255
prod382	1383	1186	1076	963	900	819	571	1995	1899	1703	1520	1339	1161	914	776	636	556	455	1563	1379	1259	1014	854	642	455	1384	1226
prod383	1137	981	873	775	595	419	714	576	378	321	263	215	612	522	446	263	662	451	364	862	690	635	580	514	369	263	
prod384	1063	921	913	778	650	535	1751	1564	1294	1166	866	470	1649	1506	1499	1364	1236	1120	908	720	1630	1723	1423	1027	805	663	655
prod385	1053	928	792	566	422	303	228	228	364	330	299	263	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228	228
prod386	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
prod387	327	327	327	309	117	75	84	75	127	113	102	82	75	93	75	93	75	93	75	145	136	117	113	102	82	75	75
prod388	1443	1196	1056	867	613	388	388	388	388	693	582	470	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388
prod389	431703	389253	344175	294724	247799	198624	159224	225999	176374	281387	242362	192317	154487	123305	226019	182381	123205	194456	145206	195775	134494	236338	186706	123205	208283	170699	127760
prod390	97850	821200	746300	659100	563500	499125	396725	290388	290388	471350	395033	290388	290388	290388	290388	290388	290388	290388	290388	290388	290388	290388	290388	290388	290388	290388	290388
prod391	864	794	665	606	605	605	605	605	605	841	717	622	605	605	605	605	605	605	605	605	605	605	605	605	605	605	605
prod392	20	17	14	13	10	12	11	9	43	37	34	30	25	21	19	18	16	11	10	9	22	16	13	9	16	12	9
prod393	3	3	3	3	3	2	2	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
prod394	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
prod395	448	385	312	284	184	304	195	185	265	265	185	165	165	145	165	145	165	145	185	165	213	160	84	76	50	50	
prod396	50	33	28	24	20	20	60	56	51	45	44	31	20	20	20	24	20	28	20	20	28	20	20	20	20	20	20
prod397	5101	4984	4947	4111	3514	2285	1528	1020	1020	1441	1377	1091	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
prod398	1332250	1270250	1177000	982500	802500	802500	707500	591000	515000	602500	523500	362655	362655	362655	362655	362655	362655	362655	362655	362655	362655	362655	362655	362655	362655	362655	362655
prod399	2248	1854	1758	1702	6845	6345	6292	6167	6043	5100	4324	3767	3213	2720	2040	2562	2340	1722	6395	6799	6644	5465	4745	3799	3106	2490	2340
prod400	5188	6032	5382	4796	2513	1829	1829	1829	2047	8209	7217	2661	6491	3287	4890	3287	4890	3287	4890	3287	4890	3287	4890	3287	4890	3287	4890
prod401	2278	2796	2684	2596	891	1033	891	891	891	891	1129	1508	891	993	891	1001	891	891	891	891	891	891	1188	1037	891	1019	891
prod402	93	85	76	61	50	38	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
prod403	213	209	185	179	101	85	66	66	154	152	121	87	70	66	72	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
prod404	6476	6132	5415	4955	4447	3877	3196	2556	3447	4414	3781	2553	3174	2744	3367	3093	2457	3345	2494	3343	2457	4215	3373	2457	2974	2550	3387
prod405	252	244	223	209	146	110	85	77	67	51	46	38	30	28	29	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
prod406	31287	30309	28265	24880	20316	13263	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365	10365
prod407	159	142	116	104	86	68	64	50	138	119	91	74	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
prod408	283205	273253	204500	156050	105250	147100	135050	112900	88276	120133	102383	79183	114407	90026	171933	137558	94245	79183	133995	102383	164055	130370	108183	79183	108183	109222	79183
prod409	3259	27507	25005	20005	20004	10203	10641	10641	10641	18147	10646	10644	10641	10641	10641	10641	10641	10641	10641	10641	10641	10641	10641	10641	10641	10641	10641
prod410	665	615	531	462	373	334	230	155	155	362	279	239	194	155	155	155	155	155	155	289	263	208	155	155	155	155	155
prod411	307322	310397	284222	244260	203650	1603075	111400	142532	107427	108028	107427	108028	107427	108028	107427	108028	107427	108028	107427	108028	107427	108028	107427	108028	107427	108028	107427
prod412	159	164	144	113	104	104	104	222	188	155	115	104	121	104	146	125	104	116	104	142	201	157	104	104	104	104	104
prod413	29162	16128	24341	16287	15788	12895	8559	10414	14445	12911	10177	9305	8559	8559	8559	11060	9307	9307	9307	9307	9307	9307	9307	9307	9307	9307	9307
prod414	197	184	175	151	121	111	125	105	188	157	145	105	121	105	120	105	128	105	108	105	208	170	155	105	105	105	105
prod415	1373	1166	984	856	639	433	295	295	295	478	395	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295
prod416	75	65	57	46	33	22	23	15	41	35	27	23	15	34	23	15	49	40	36	31	27	22	15	14	15	14	15
prod417	517	520	547	275	204	1823	5380	5267	4370	4120	3378	3077	2462	1791	1845	5384	1518	4269	3469	3469	3469	3469	3469	3469	3469	3469	3469
prod418	1246	1195	1125	1067	401	375	375	375	375	401	486	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375
prod419	21	19	17	13	9	13	11	8	18	17	11	9	11	9	10	24	21	18	16	14	13	10	8	7	6	13	10
prod420	642125	558475	488650	380500	301000	224200	285425	241000	214875	362833	286103	209703	374466	284084	209703	358378	278383	209703	296340	242359	209703	401140	305203	209703	706312	285229	209703
prod421	548	483	426	312	213	141	140	140	140	327	224	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140	140
prod422	2506	2275	2144	1796	1408	6951	4																				

7.4 Anexo 4: Cantidad mínima de fabricación por artículo.

ITEM	MINIMO TEÓRICO	MÍNIMO OBSERVADO	ITEM	MINIMO TEÓRICO	MÍNIMO OBSERVADO	ITEM	MINIMO TEÓRICO	MÍNIMO OBSERVADO
prod01	26,000	26,000	prod81	20,000	20,000	prod161	500	500
prod02	3,500	3,500	prod82	2	26	prod162	1,500	1,836
prod03	5,000	5,000	prod83	4,400	4,400	prod163	8	9
prod04	300	300	prod84	3,200	3,200	prod164	1,600	1,600
prod05	6,500	6,500	prod85	500	5,891	prod165	2,500	2,500
prod06	10,000	10,000	prod86	7	16	prod166	8	10
prod07	50,000	50,000	prod87	1,400	1,400	prod167	8	153
prod08	200	200	prod88	500	500	prod168	10	34
prod09	4,500	4,500	prod89	14,500	14,500	prod169	2	26
prod10	1,500	1,500	prod90	4,000	4,000	prod170	2	2
prod11	80	80	prod91	10	14	prod171	1,600	1,600
prod12	15,000	15,000	prod92	37,500	37,500	prod172	3	96
prod13	1,500	1,500	prod93	256,000	256,000	prod173	3,400	3,400
prod14	200	200	prod94	2,500	2,500	prod174	4	67
prod15	500	500	prod95	9,500	14,766	prod175	8	9
prod16	300	15,518	prod96	3,200	3,200	prod176	3	11
prod17	3,400	3,400	prod97	2	62	prod177	24,500	24,500
prod18	120,000	120,000	prod98	4,200	4,200	prod178	2	54
prod19	4,500	4,500	prod99	800	868	prod179	2	49
prod20	9,500	19,470	prod100	2,000	2,000	prod180	3,200	26,375
prod21	1,200	1,200	prod101	2	52	prod181	2	15
prod22	800	1,508	prod102	800	800	prod182	1	16
prod23	3,400	9,482	prod103	5,000	5,000	prod183	7	7
prod24	4,600	8,930	prod104	7	628	prod184	259,000	305,046
prod25	2,800	2,800	prod105	9	30	prod185	1,400	1,400
prod26	1,200	1,200	prod106	4,000	4,000	prod186	3	6,422
prod27	1,500	5,719	prod107	1,000	1,000	prod187	1,000	10,155
prod28	2,600	2,600	prod108	3,000	3,000	prod188	2,200	2,200
prod29	1	21	prod109	4,000	4,000	prod189	4,200	4,200
prod30	5	86,196	prod110	1,000	1,000	prod190	9	13
prod31	4,200	4,200	prod111	40,000	40,000	prod191	2	15
prod32	1,800	1,800	prod112	2,000	2,403	prod192	32,500	32,500
prod33	10,000	11,887	prod113	1,040,000	1,040,000	prod193	7	132
prod34	5,500	5,500	prod114	1,500	1,500	prod194	3,200	3,200
prod35	500	500	prod115	1,400	1,400	prod195	65,000	65,000
prod36	9	6,407	prod116	74,000	74,000	prod196	8	12
prod37	2,000	52,800	prod117	500	500	prod197	5	8
prod38	6	80	prod118	1,000	11,371	prod198	600	671
prod39	12,000	88,325	prod119	1,400	1,400	prod199	3,500	3,500
prod40	4,400	4,400	prod120	1,200	1,200	prod200	10	30
prod41	4,000	4,000	prod121	5	12	prod201	7	7
prod42	6,000	13,760	prod122	6	15,000	prod202	6	6
prod43	3	74	prod123	500	500	prod203	7	70
prod44	4,400	41,753	prod124	9	15,000	prod204	500	500
prod45	1,200	1,200	prod125	800	2,473	prod205	5	10
prod46	500	18,864	prod126	1,000	1,000	prod206	8	423
prod47	192,000	192,000	prod127	5,000	224,350	prod207	10,000	10,000
prod48	7	20	prod128	1	34	prod208	2,000	2,000
prod49	2	39	prod129	8	15,000	prod209	2	7
prod50	2,000	2,000	prod130	4,400	4,400	prod210	8	192
prod51	500	500	prod131	3,000	3,000	prod211	2	23
prod52	3,000	160,756	prod132	62,500	62,500	prod212	2,500	2,500
prod53	2,000	2,000	prod133	1	23	prod213	8	12
prod54	1,500	3,484	prod134	30,000	30,000	prod214	1,600	1,600
prod55	3	129	prod135	1	21	prod215	8	15
prod56	2	7	prod136	3,200	54,686	prod216	3	118
prod57	8,000	35,266	prod137	3	9	prod217	500	500
prod58	16,000	16,000	prod138	8	10	prod218	500	500
prod59	3	24	prod139	2,600	2,600	prod219	8	12
prod60	3,500	3,500	prod140	115,000	115,000	prod220	1	7
prod61	7	46	prod141	1	16	prod221	4	9
prod62	5,000	5,000	prod142	20,500	20,500	prod222	6,000	6,000
prod63	2,800	2,800	prod143	4,600	4,600	prod223	4	125
prod64	4	2,502	prod144	4	15	prod224	6	21
prod65	4	29	prod145	313,000	313,000	prod225	5	86
prod66	11,500	11,500	prod146	2,000	2,000	prod226	3,000	36,224
prod67	101,000	118,406	prod147	1,000	1,000	prod227	500	500
prod68	3,800	3,800	prod148	10,000	10,000	prod228	7	13
prod69	810,000	810,000	prod149	5	16	prod229	4	12
prod70	2	5	prod150	3	17	prod230	3,200	3,200
prod71	4,600	4,600	prod151	4,800	4,800	prod231	9	23
prod72	2,500	2,500	prod152	2,200	2,302	prod232	2	17
prod73	2,000	2,000	prod153	26,500	33,646	prod233	2,800	2,800
prod74	9	9	prod154	2,000	2,000	prod234	7	10
prod75	3,400	3,400	prod155	5	5	prod235	500	500
prod76	1	8	prod156	9	17	prod236	4	7
prod77	1,000	1,000	prod157	10	56	prod237	2,200	2,200
prod78	10	13	prod158	2,000	2,000	prod238	10	15
prod79	274,000	274,000	prod159	8	21	prod239	3	11
prod80	1,400	1,400	prod160	4	13	prod240	8	51

ITEM	MINIMO TEÓRICO	MÍNIMO OBSERVADO	ITEM	MINIMO TEÓRICO	MÍNIMO OBSERVADO	ITEM	MINIMO TEÓRICO	MÍNIMO OBSERVADO
prod241	500	500	prod321	5	21	prod401	4	176
prod242	1,000	1,000	prod322	3	8	prod402	5	8
prod243	4,200	4,200	prod323	10	18	prod403	4	8
prod244	7	10	prod324	17,500	30,039	prod404	1,600	1,600
prod245	7	10	prod325	5	7	prod405	4	12
prod246	2,000	2,000	prod326	500	500	prod406	1,200	2,158
prod247	6	29	prod327	5,000	53,723	prod407	7	13
prod248	1,800	40,566	prod328	4,600	4,600	prod408	81,500	81,500
prod249	500	500	prod329	800	800	prod409	6	628
prod250	4	382	prod330	2,000	2,000	prod410	4	21
prod251	1,800	1,800	prod331	9	18	prod411	34,000	34,000
prod252	5	7	prod332	2	58	prod412	5	11
prod253	1	3,088	prod333	1,500	1,500	prod413	4,000	4,000
prod254	5,000	5,000	prod334	1,000	1,000	prod414	2	9
prod255	9	9	prod335	3,500	23,781	prod415	2	37
prod256	7	14	prod336	1	76	prod416	10	11
prod257	5,500	5,500	prod337	10	10	prod417	3,500	3,500
prod258	2,200	2,200	prod338	6	10	prod418	1	44
prod259	1	8	prod339	1,600	94,375	prod419	4	8
prod260	9	11	prod340	10	13	prod420	194,500	194,500
prod261	3,500	10,913	prod341	155,000	155,000	prod421	3	38
prod262	2,000	2,000	prod342	500	500	prod422	3,800	3,800
prod263	4	338	prod343	124,000	124,000	prod423	93,500	93,500
prod264	7	7	prod344	1	10	prod424	500	500
prod265	500	500	prod345	5	8	prod425	7	15
prod266	1,800	1,800	prod346	10	15	prod426	7	8
prod267	4,600	4,600	prod347	500	500	prod427	26,000	26,000
prod268	3,000	3,000	prod348	9	14	prod428	2,500	2,500
prod269	1,000	1,000	prod349	115,000	115,000	prod429	500	500
prod270	10	109	prod350	8	38	prod430	6	11
prod271	2	2	prod351	2	82	prod431	1,600	1,600
prod272	4,800	4,800	prod352	500	500	prod432	2,600	2,812
prod273	71,000	71,000	prod353	2	8	prod433	3	4
prod274	3,200	3,200	prod354	1	20	prod434	1,800	1,800
prod275	800	1,014	prod355	2,200	2,200	prod435	3,600	15,188
prod276	5	5	prod356	3	9	prod436	500	500
prod277	500	500	prod357	7	9,751	prod437	8	96
prod278	2,600	14,978	prod358	226,000	226,000	prod438	4	9
prod279	1,000	1,000	prod359	2	82	prod439	3	3
prod280	131,000	131,000	prod360	5	13	prod440	500	500
prod281	10	292	prod361	1,400	1,400	prod441	3	6
prod282	338,500	338,500	prod362	2,800	2,800	prod442	5	8
prod283	6	9	prod363	6	6	prod443	600	600
prod284	4	6	prod364	2	6	prod444	3,000	3,000
prod285	2,000	2,000	prod365	1	202	prod445	500	699
prod286	500	500	prod366	1,000	1,000	prod446	5	9
prod287	8	9	prod367	2	19	prod447	308,500	308,500
prod288	500	500	prod368	2,000	2,000	prod448	6	40
prod289	1	6	prod369	500	500	prod449	1,000	1,000
prod290	1	7	prod370	27,500	27,500	prod450	14,500	14,500
prod291	8	19	prod371	2,000	2,000	prod451	2,600	2,600
prod292	2	20	prod372	1,400	1,400	prod452	2,800	2,800
prod293	1,000	17,593	prod373	5	5	prod453	5	13
prod294	4	33	prod374	7	34	prod454	11,000	11,000
prod295	5	5	prod375	24,000	24,000	prod455	11,000	11,000
prod296	3,000	3,000	prod376	8	8	prod456	8	61
prod297	5	10	prod377	1,000	1,000	prod457	10	10
prod298	5	24	prod378	3	13	prod458	7	2,522
prod299	1	11	prod379	4	80	prod459	125,000	125,000
prod300	2,500	2,942	prod380	4	18	prod460	7	7
prod301	500	1,146	prod381	9	54	prod461	70,000	70,000
prod302	20,000	20,000	prod382	1,200	1,200	prod462	4,600	4,600
prod303	3,500	3,500	prod383	500	500	prod463	1,600	1,600
prod304	4,600	4,600	prod384	1,400	1,400	prod464	4	26
prod305	7	14	prod385	3	43	prod465	3,000	3,000
prod306	4	9	prod386	3	10	prod466	5	10
prod307	3,200	48,425	prod387	2	18	prod467	500	500
prod308	2	7	prod388	5	44	prod468	500	6,373
prod309	3	8	prod389	132,000	132,000	prod469	3	3
prod310	3,000	3,000	prod390	3,800	51,350	prod470	10	53
prod311	2,500	2,776	prod391	10	51	prod471	500	500
prod312	1	4	prod392	7	7	prod472	6	27
prod313	1,000	1,000	prod393	2	2	prod473	1	27
prod314	1,000	1,000	prod394	4	4	prod474	500	500
prod315	2	19	prod395	4	44	prod475	1,000	1,000
prod316	1,600	1,600	prod396	8	13	prod476	4	10
prod317	6	6	prod397	6	25	prod477	148,500	148,500
prod318	10	10	prod398	4,200	57,563	prod478	20,000	20,000
prod319	2	96	prod399	4,600	4,600	prod479	1,400	1,400
prod320	800	13,563	prod400	7,500	7,500	prod480	1,000	1,000

ITEM	MINIMO TEÓRICO	MÍNIMO OBSERVADO	ITEM	MINIMO TEÓRICO	MÍNIMO OBSERVADO
prod481	180,000	180,000	prod541	6	9
prod482	29,000	29,729	prod542	3	17
prod483	4	59	prod543	4,800	4,800
prod484	1	67	prod544	4,600	4,600
prod485	7	34	prod545	1,500	1,500
prod486	4	4	prod546	800	800
prod487	7	45	prod547	1,500	1,500
prod488	2,000	2,000	prod548	2,500	2,500
prod489	1	1	prod549	2,500	2,500
prod490	5	196	prod550	1,800	1,800
prod491	800	1,818	prod551	95,000	95,000
prod492	3	4	prod552	28,000	28,000
prod493	500	500	prod553	6,000	6,000
prod494	2,400	2,400	prod554	5	5
prod495	500	500	prod555	4	25
prod496	5	69	prod556	8	1,250
prod497	6	21	prod557	4	85
prod498	3,200	3,200	prod558	1	10
prod499	4	10	prod559	4,800	4,800
prod500	1	9	prod560	6	60
prod501	2	22	prod561	25,000	25,000
prod502	4,600	4,600	prod562	8	11
prod503	7	64	prod563	2	34
prod504	1,500	1,500	prod564	800	800
prod505	9	55	prod565	8	8
prod506	62,500	62,500	prod566	6	54
prod507	4	9	prod567	3	5
prod508	9	68	prod568	2	11
prod509	4	13	prod569	2	103
prod510	4	36	prod570	1	5
prod511	1	16	prod571	8	23
prod512	3,600	4,781	prod572	4	10
prod513	8	9	prod573	4,800	4,800
prod514	2	9	prod574	160,000	160,000
prod515	3	10	prod575	9	9
prod516	6	30	prod576	500	500
prod517	1,400	1,400	prod577	2	9
prod518	79,000	79,000	prod578	2	108
prod519	3,000	3,000	prod579	8	30
prod520	800	800	prod580	4	25
prod521	500	1,062	prod581	3,400	3,400
prod522	8	8	prod582	6	6
prod523	4	17	prod583	9	9
prod524	1,800	1,800	prod584	2	9
prod525	5	5	prod585	7	7
prod526	10	17	prod586	5	12
prod527	5,000	5,000	prod587	4	4
prod528	9	13	prod588	7	7
prod529	5	8	prod589	6	12
prod530	3	8	prod590	4	6
prod531	10	118	prod591	1,500	1,500
prod532	8	33	prod592	3	13
prod533	3	81	prod593	14,500	14,500
prod534	5,000	5,000	prod594	39,000	39,000
prod535	2,600	30,386	prod595	1,000	1,000
prod536	1,500	1,500	prod596	3	13
prod537	4,200	4,200	prod597	4,000	4,000
prod538	1,000	27,664	prod598	10	21
prod539	1,200	3,051	prod599	1,500	4,600
prod540	3,400	3,400	prod600	162,000	162,000

7.5 Anexo 5: Código gams

option optcr=0.01

sets

\$onUNDF

i periodos /d0*d26/

k productos /prod01*prod600/

scalar M /1100000/ ;

*interes efectivo mensual

scalar interes /0.16/;

*costo mensual de almacenamiento en USD.

scalar cbm /5/;

*costo fijo de realizar una orden de producto.

scalar costo_orden /4/;

parameters

demanda (k,i) demanda del producto k durante el mes i

costos (k,i) costo de ordenar el producto k durante el mes i

moq(k) Minimal order quantity para el producto k

L(k) Lead time asociado al producto k

inv_inicial (k) Inventario inicial del producto k

prom (k) demanda promedio del producto k

minimo(k) núm de meses de inventario de seguridad para el producto k

volumen (k) Volumen en metros cúbicos del producto k

\$CALL GDXXRW datafesa17082018.xlsx par=demanda

rng=demandas!h4:ai604 dim=2 Cdim=1 Rdim=1

\$GDXIN datafesa17082018.gdx
\$LOAD demanda
\$GDXIN

\$CALL GDXXRW datafesa17082018.xlsx par=moq rng=parametros!d2:e601
dim=1 Cdim=0 Rdim=1
\$GDXIN datafesa17082018.gdx
\$LOAD moq
\$GDXIN

\$CALL GDXXRW datafesa17082018.xlsx par=L rng=parametros!a2:b601
dim=1 Cdim=0 Rdim=1
\$GDXIN datafesa17082018.gdx
\$LOAD L
\$GDXIN

\$CALL GDXXRW datafesa17082018.xlsx par=prom rng=parametros!j2:k601
dim=1 Cdim=0 Rdim=1
\$GDXIN datafesa17082018.gdx
\$LOAD prom
\$GDXIN

\$CALL GDXXRW datafesa17082018.xlsx par=inv_inicial
rng=parametros!g2:h601 dim=1 Cdim=0 Rdim=1
\$GDXIN datafesa17082018.gdx
\$LOAD inv_inicial
\$GDXIN

\$CALL GDXXRW datafesa17082018.xlsx par=minimo rng=parametros!n2:o601
dim=1 Cdim=0 Rdim=1
\$GDXIN datafesa17082018.gdx
\$LOAD minimo
\$GDXIN

\$CALL GDXXRW datafesa17082018.xlsx par=costos rng=cost!a1:ab601 dim=2
Cdim=1 Rdim=1

\$GDXIN datafesa17082018.gdx

\$LOAD costos

\$GDXIN

\$CALL GDXXRW datafesa17082018.xlsx par=volumen

rng=parametros!u2:v601 dim=1 Cdim=0 Rdim=1

\$GDXIN datafesa17082018.gdx

\$LOAD volumen

\$GDXIN

variable

$z, s(k,i), x(k,i)$

binary variable

$b(k,i)$ 1 si se realiza el pedido en el mes i

equations

obj

res0

res1

res2

res3

res4

res5

res6

res7

res8

res9

res10

res12

res13

res14

res16;

Obj..z=e=sum((k,i),s(k,i));

```

res0(k)..s(k,'d0')=e=inv_inicial(k);
res1(k,i)$ (ord(i) ge L(k))..s(k,i-1)+x(k,i-L(k))=e=demanda(k,i)+s(k,i);
res2(k,i)$ (ord(i) < L(k)$ (ord(i)>1))..s(k,i)=e=s(k,i-1)-demanda(k,i);
res3(k,i)..x(k,i)=g=0;
res4(k,i)$ (ord(i) ge L(k))..s(k,i)=g=0;
res5(k,i)..x(k,i)=l=(M*b(k,i));
res6(k,i)..x(k,i)=g=(moq(k)*b(k,i));
res7(k)..x(k,'d7')=e=0;
res8(k)..x(k,'d8')=e=0;
res9(k)..x(k,'d19')=e=0;
res10(k)..x(k,'d20')=e=0;
res11..sum((k,i), ( cbm*volumen(k)*s(k,i)+ (x(k,i)*costos(k,i))+
(interés*costos(k,i)*x(k,i))+ (b(k,i)*costo_orden) ))=l=6000000;
res12(k,i)$ (ord(i) ge L(k)+1)..s(k,i)=g=(prom(k)*minimo(k));
res13(k).. sum(i,b(k,i))=l=15;
res16(k).. sum(i,b(k,i))=g=4;
res14(i).. sum(k ,b(k,i))=l=300;

```

```

model inventario /all/
*Option MIP = Gurobi;
Option mip = CPLEX;
solve inventario minimizing z using mip
display x.l,z.l,s.l,b.l

```

*=== Export to Excel using GDX utilities

*=== First unload to GDX file (occurs during execution phase)

```
execute_unload "results50.gdx" x.L s.L b.L
```

```
*execute_unload "datafesa.gdx" x.L s.L
```

*=== Now write to variable levels to Excel file from GDX

*=== Since we do not specify a sheet, data is placed in first sheet

```
execute 'gdxrw.exe results50.gdx o=results50.xls var=x.L rng=X(i)!a2:ab615'
```

```
*execute 'gdxrw.exe datafesa.gdx o=datafesa.xls var=x.L rng=X(i)!a1:aa11'
```

*=== Write marginals to a different sheet with a specific range
execute 'gdxxrw.exe results50.gdx o=results50.xls var=s.L rng=S(i)!a2:ab615'
*execute 'gdxxrw.exe datafesa.gdx o=datafesa.xls var=s.L rng=S(i)!a1:aa11'
execute 'gdxxrw.exe results50.gdx o=results50.xls var=b.L rng=b(i)!a2:ab615'

i