

**DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO APLICADO A LA PLANEACIÓN DE
LA PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA SUPPLY CHAIN DE UNA
EMPRESA DE CONSUMO MASIVO**

**JOHN JAIRO GAMBOA OCAMPO
JOSÉ RUBÉN TABARES PINEDA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012 – 06 – 06**

**DISEÑO DE UN MODELO MATEMÁTICO APLICADO A LA PLANEACIÓN DE
LA PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA SUPPLY CHAIN DE UNA
EMPRESA DE CONSUMO MASIVO**

**JOHN JAIRO GAMBOA OCAMPO
JOSÉ RUBÉN TABARES PINEDA**

Tesis de grado presentada como requisito
Para optar al título de Maestría en Ingeniería Industrial

Director: Ph.D. LEONARDO RIVERA



**FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2012 – 06 – 06**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Santiago de Cali, 06 de Junio de 2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme alcanzar otro logro en mi vida.

A mi hermosa familia por ser el pilar y el motor que me impulsa cada día.

Al ingeniero John Jairo Gamboa

por, por su gran amistad, por toda la dedicación y el aporte valioso de sus conocimientos en el desarrollo de este proyecto.

José Ruben Tabares Pineda.

A Dios, mi compañero y padre fiel. Eres único y te serviré toda la vida.

A mi compañera y amiga, Ximena por aguantar tantas horas de estudio y permanecer siempre a mi lado

A mi hijo Benjy, por ser la gran bendición y el motor de inspiración

A mi familia por enseñarme el valor de la honestidad y los principios con los que he afrontado el día a día.

A mi compañero y amigo Jose Ruben, por aguantarme en todo el tiempo de estudio y aceptarme a pesar de las diferencias.

A todos mis compañeros. Sin la ayuda de ustedes nada de esto hubiera sido posible.

Liliana Espinoza

Luis Hernando Garzón

John Edwin Ledezma

Carlos Gustavo del Castillo

Juan Pablo Giraldo

Alexander Gonzales

Bernardo Manzano

Jesús Herrera

Eliana Roldan

John Gamboa

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE ANEXOS.....	10
INTRODUCCIÓN.....	14
1 MARCO DE REFERENCIA.....	16
1.1 ANTECEDENTES.....	16
1.2 MARCO TEÓRICO.....	17
1.2.1 Qué es una cadena de abastecimiento.....	17
1.2.2 Objetivo de la cadena de abastecimiento.....	17
1.2.3 Estructura.....	18
1.2.3.1 Los productos en la cadena de abastecimiento.....	19
1.2.3.2 Los sistemas de información.....	20
1.2.4 Operaciones típicas.....	20
1.2.5 Directrices y métricas.....	21
1.2.6 Fases de decisión:.....	21
1.2.7 Enfoque de los procesos.....	22
1.2.7.1 Enfoque empuje / Jalonar.....	22
1.2.8 Desempeño de la cadena de abastecimiento.....	22
1.2.9 Modelación matemática.....	23
1.2.9.1 Elementos básicos para la planeación y optimización.....	24
1.2.9.2 Diseño y solución del modelo matemático.....	25

2	INFORMACIÓN DE LA EMPRESA	27
2.1	ANÁLISIS DEL SECTOR	27
2.1.2	Competitividad.....	29
2.1.3	Exigencias del consumidor.....	30
2.2	ESTRUCTURA DE COSTOS.	30
3	PROBLEMA A TRATAR.....	34
3.1	ANTECEDENTES.....	34
3.2	FORMULACION DEL PROBLEMA.....	35
4	OBJETIVOS DEL PROYECTO	36
4.1	OBJETIVO GENERAL	36
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	36
5	ALCANCE DEL PROYECTO	37
6	METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	41
6.1	RECOLECCION DE DATOS	42
7	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	44
7.1	GESTION DE LA PRODUCCION.....	44
7.1.1	Eficiencia de plantas	44
7.1.2	Costos de producción.....	46
7.2	GESTION DE INVENTARIOS.....	50
7.2.1	Inventario de Producto Terminado (PT)	50
7.2.2	Política de inventarios	51
7.2.3	Costos de almacenamiento.....	51
7.3	GESTION DE LA DISTRIBUCION.....	52

7.3.1	Pronostico de la demanda.....	52
7.3.2	Costos de distribución	54
7.4	COSTOS RELEVANTES TOTALES.....	55
7.5	ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	56
7.5.1	Características del modelo.....	56
7.5.2	Componentes del modelo matemático	58
7.5.3	Formulación del modelo.....	59
7.5.4	Formulación verbal del modelo	61
7.5.5	Modelo Matemático en notación algebraica	62
7.5.6	Archivo del modelo en AMPL	66
7.5.7	El archivo de datos en AMPL	66
7.5.8	El archivo de comandos y el archivo de resultados en AMPL.....	66
7.5.9	Solución del modelo.....	67
7.5.10	Corrida del modelo NEOS Server.	68
8	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	70
8.1	VALIDACIÓN DEL MODELO.....	70
8.1.1	Capacidad de Producción	73
8.1.2	Inventarios.....	74
8.1.3	Demanda.....	76
8.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	76
8.3	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	84
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	89

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Ilustración 1 Esquema de cadena de abastecimiento.....	18
Ilustración 2 Estructura de Costos	31
Ilustración 3 Esquema actual cadena de abastecimiento	38
Ilustración 4 Distribución geográfica de puntos de producción y ventas.....	39
Ilustración 5 Procesos de la compañía	40
Ilustración 6 Eficiencia de plantas.....	44
Ilustración 7 Costos de referencia por planta.....	47
Ilustración 8 Participación de costos por planta.....	48
Ilustración 9 Distribución total de costos de referencias analizadas	49
Ilustración 10 Producción, Inventario y distribución periodo Julio – Diciembre 2011	50
Ilustración 11 Comportamiento de la demanda por Referencia	52
Ilustración 12 Comportamiento de la demanda año 2012.....	53
Ilustración 13 Participación de la demanda por zonas del país	54
Ilustración 14 Esquema actual cadena de abastecimiento	57
Ilustración 15 Validación del modelo.....	72
Ilustración 16 Participación de la demanda por zonas del país	78
Ilustración 17 Producción, Inventario y Distribución real de los meses Enero – Abril 2012.....	79
Ilustración 18 Resultados del modelo de planeación – distribución para el pronóstico de demanda Junio – Diciembre 2012.....	83
Ilustración 19 Comportamiento de los costos totales relevantes y las cantidades despachadas para el pronóstico de demanda en el periodo Junio – Diciembre 2012.....	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Sales of Sweet and Savoury Snacks by Category: Value 2006-2011	27
Tabla 2 Sweet and Savoury Snacks Company Shares 2006-2010.....	28
Tabla 3 Recolección de datos por Proceso.....	43
Tabla 4 Costos de producción por paca/referencia /Planta (año 2012)	46
Tabla 5 Participación de Costos por planta.....	48
Tabla 6 Costos de almacenamiento.....	51
Tabla 7 Comportamiento de la demanda	53
Tabla 8 Cantidades demandadas por cada distrito para los meses de junio a diciembre 2012	53
Tabla 9 Costos de Distribución	55
Tabla 10 Características del Modelo.....	57
Tabla 11 Archivo de comandos.....	66
Tabla 12 Distribución Real vs Modelo.....	70
Tabla 13 Costos distribución real vs Modelo.....	71
Tabla 14 Coeficiente de Variación	72
Tabla 15 Variables resultantes del modelo	73
Tabla 16 Resultados de inventario.....	75
Tabla 17 Distribución real de productos para los meses de enero a abril.....	77
Tabla 18 Cantidades despachadas hacia los distritos para los meses de junio a diciembre según pronóstico de la demanda.....	78
Tabla 19 Resultados de validación del modelo de planeación distribución enero - abril	81
Tabla 20 Análisis de sensibilidad según Incremento de capacidad	85

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Modelo en AMPL.....	78
Anexo 2: Archivo datos.....	80
Anexo 3: Resultados del modelo.....	85

PALABRAS CLAVE

Consumidores o clientes

Los clientes son la razón de ser de la cadena de abastecimiento. Todo lo que se haga en la cadena tiene como objeto satisfacer sus necesidades y requisitos.

Proveedores

Son las empresas o personas que suministran materias primas y componentes e insumos a las plantas manufactureras de una cadena de abastecimiento industrial, o a las empresas o personas que suministran productos terminados a una cadena de abastecimiento comercial.

Plantas de producción

Son los lugares donde se realiza la transformación de las materias primas en productos terminados, algunas de sus características básicas deben considerarse para la optimización de cadenas de abastecimiento. Dentro de estas características están la capacidad de producción, las fórmulas de materiales, la determinación de los proveedores que pueden suplir a cada planta y la identificación de los productos que pueden ser producidos en cada planta.

Detallistas, minoristas o retailers

Son las instalaciones donde el cliente acude para adquirir los productos. Pueden ser o no propiedad de la cadena de abastecimiento productora o comercial. Se caracterizan por ser los lugares donde se puede recoger la información sobre la demanda real del cliente y el nivel de servicio que se está brindando a través de la cadena de abastecimiento.

Operadores logísticos

Son organizaciones externas que prestan diversos servicios de logística a muchos clientes, tales como almacenamiento, control físico de inventarios y transporte, entre otros posibles. Actualmente, los operadores logísticos son de mucha importancia para las cadenas de abastecimiento, ya que su tendencia es la de ceder cada vez más las operaciones logísticas a terceros para facilitar que la empresa se dedique a sus capacidades o competencias básicas, como son las de producir (o comprar) y vender productos

Instalaciones

Son las ubicaciones físicas reales en la red de la cadena de abastecimiento donde el producto se almacena, ensambla o fabrica.

Inventario

Abarca toda la materia prima, el producto en proceso y el producto terminado dentro de la cadena de abastecimiento.

Distribución

Supone mover el inventario de un punto a otro en la cadena de abastecimiento.

Información

Consiste en datos y análisis concernientes a las instalaciones, inventario, distribución, costos, precios, y clientes a lo largo de la cadena de abastecimiento.

Aprovisionamiento

Es la decisión sobre quien desempeñara una actividad específica de la cadena de abastecimiento, como la producción, almacenamiento, distribución o administración de la información.

Fijación de precios

Determina cuánto cobrará una compañía por los bienes y servicios que pone a disposición en la cadena de abastecimiento.

Función objetivo

Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar). Como ejemplo de funciones objetivo se pueden mencionar: la minimización de los costes variables de operación de un sistema eléctrico, la maximización de los beneficios netos de venta de ciertos productos, la minimización del cuadrado de las desviaciones con respecto a unos valores

observados, la minimización del material utilizado en la fabricación de un producto, etc.

Variables

Representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la Función objetivo.

Restricciones

Representan el conjunto de relaciones expresadas mediante ecuaciones que ciertas variables están obligadas a satisfacer.

Assembled to order (ATO)

Estrategia que permite a un producto o servicio ser hecho bajo órdenes específicas, así un gran número de productos puede ser hecho a partir de un número limitado de componentes comunes. Esto exige una planeación sofisticada de los procesos para anticiparse a la demanda cambiante para componentes internos o accesorios mientras se enfoca en el ensamblaje final del producto para proveer un producto hecho a la medida para los usuarios.

Engineering To Order (ETO)

ETO es uno de los ambientes de trabajo clásicos de la manufactura. El supuesto básico en ETO es que el proceso es único e irreplicable, en el que el cliente define prácticamente todas las características del producto.

CIF Costos indirectos de fabricación

Son todos aquellos costos de manufactura que son considerados como parte del objeto de costo, pero que no pueden ser fácilmente identificados en dicho objeto de costo.

MOD Mano de obra directa

Es la mano de obra consumida en las áreas que tienen una relación directa con la producción o la prestación de algún servicio.

INTRODUCCIÓN

La competitividad de las empresas es un tema de gran importancia para las directivas de las organizaciones, especialmente cuando se habla que en la actualidad los mercados son cada vez más exigentes, competitivos y globalizados, en donde se encuentran más competidores dispuestos a entregar productos de buena calidad y a precios cómodos.

Debido a estas presiones competitivas se hace necesario gestionar de manera eficaz las cadenas de abastecimiento, tomando decisiones acertadas que permitan entregar al cliente productos de excelente calidad, en tiempos oportunos, fabricados en procesos eficientes que garanticen la optimización de los recursos y los bajos costos de producción, abastecimiento y de distribución, es decir buscar la eficiencia operacional a lo largo de toda la cadena.

Para agilizar la toma de decisiones que ayuden a la gestión eficaz de la cadena de abastecimiento, las empresas utilizan tecnologías y herramientas que les permiten actuar de manera rápida a los cambios de un mercado que es cada vez más competitivo. Dentro de estas herramientas encontramos el uso de modelos matemáticos los cuales hacen una representación del problema y ayudan a dar una solución óptima que permite el logro de objetivos y al aumento de la competitividad.

La investigación de operaciones es sin lugar a duda una de las herramientas que hoy día ha tenido auge en las empresas, ya que ha dado muy buenos resultados, ésta se puede definir como la aplicación de métodos científicos en busca de la mejora de la efectividad de las operaciones, decisiones y gestión. El trabajo de la investigación de operaciones consiste en recopilar y analizar datos, desarrollar y probar modelos matemáticos, proponer soluciones o recomendaciones y así ser eficientes en todas las etapas de la cadena de abastecimiento.

En el presente proyecto de investigación se usa la modelación matemática, y en concreto un modelo de programación lineal en donde se tienen en cuenta elementos y aspectos que conforman la cadena de abastecimiento de tipo regional, con el que se busca resolver un problema de producción y logística para lograr la operación de la red de distribución y la producción a un costo mínimo. El

modelo se construye sobre una estructura de red que admite, plantas, centros de distribución y clientes, se modelan los flujos de producto terminado a lo largo de toda la cadena de abastecimiento, detallando de manera explícita los costos de producción, transporte de producto terminado, y administración de inventarios. El modelo incluye la optimización de la cadena mediante la asignación de cantidades de productos distribuidos para cada distrito de la red, mientras se satisface un conjunto de restricciones que incluye: Capacidad de las plantas, y de los centros de distribución, satisfacción de valores de demanda por producto y por distrito, balance de flujo de materiales en plantas, balance de flujo de producto en centros de distribución, y condición de no negatividad sobre las variables de decisión.

1 MARCO DE REFERENCIA

1.1 ANTECEDENTES

Una gran cantidad de los problemas dentro del área de estudio de la Ingeniería Industrial en el marco de la logística de la Cadena de abastecimiento, se pueden presentar por la necesidad de una herramienta que de forma confiable, soporte la toma de decisiones de localización de nuevas instalaciones industriales como plantas de manufactura, bodegas, centros de abastecimiento y distribución o las decisiones de reubicación o eliminación definitiva de instalaciones industriales que ya existen por parte de la gerencia de las empresas manufactureras o comercializadoras de productos de consumo masivo.

Lo más realista en un problema de localización para la mayoría de las compañías, ocurre cuando dos o más instalaciones tienen que ser localizadas simultáneamente o adicionar una instalación cuando al menos una ya existe. Este problema es común porque todas las empresas tienen más de una instalación en su sistema logístico, situación que es compleja porque estas instalaciones no pueden ser tratadas razonable y económicamente independientes, y donde el número de posibles configuraciones de localización se vuelve enorme. (BALLOU, 2004).

Son muchos los síntomas que se pueden apreciar dentro de una cadena de abastecimiento cuando no está bien diseñada por parte de cada uno de los actores. Varios de estos síntomas surgen de una mala localización de una instalación industrial, la cual puede afectar otras áreas de la planeación de la cadena, como lo son, las políticas de inventario o el transporte de producto, esta situación se evidencia por un uso excesivo de inventarios, el incremento en costos logísticos, incremento en inversión de capital a largo plazo y reducción del nivel de servicio al cliente.

La Supply Chain integra a la cadena productiva desde el proveedor, la producción, transporte, almacenamiento, distribución y consumidor final. La dirección de la Supply Chain se encarga de sincronizar los requerimientos del consumidor con el flujo de materiales por parte de los proveedores, esto con el fin de obtener un balance que se refleja en temas de bajar costos unitarios, bajar inventarios, reducir

devoluciones y rechazos, mejorar el servicio al consumidor, y facilitar la flexibilidad (volumen de despachos).

1.2 MARCO TEÓRICO

1.2.1 Qué es una cadena de abastecimiento

Una cadena de abastecimiento está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de una solicitud de un cliente.

La cadena de abastecimiento incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle e incluso a los mismos clientes. Dentro de cada organización como la del fabricante, abarca todas las funciones que participan en la recepción y el cumplimiento de una petición del cliente. Estas funciones incluyen pero no están limitadas al desarrollo de nuevos productos, la mercadotecnia, las operaciones, la distribución, las finanzas y el servicio al cliente (CHOPRA, 2008).

1.2.2 Objetivo de la cadena de abastecimiento.

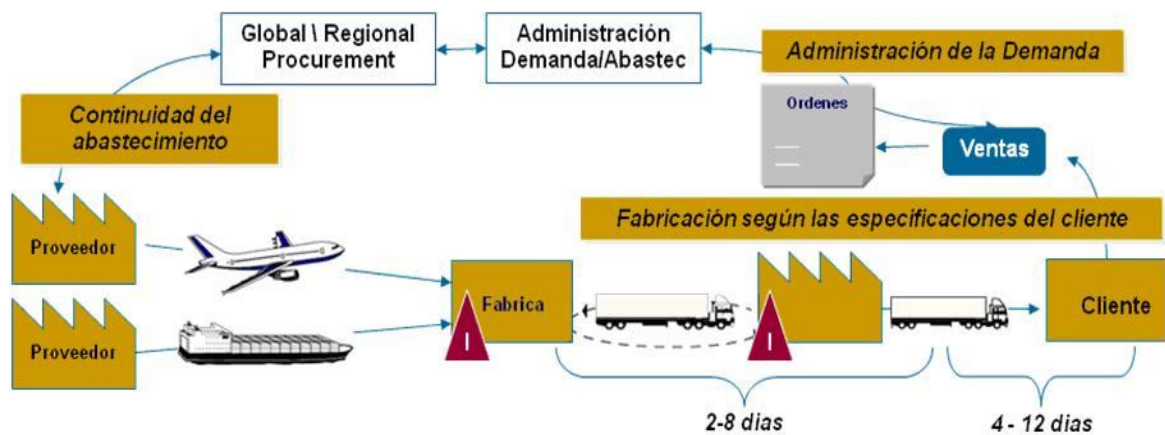
El propósito principal de las cadenas de abastecimiento es satisfacer al cliente y, en el proceso, generar una ganancia, es decir maximizar el valor total generado. El valor que una cadena de suministro genera es la diferencia entre lo que vale el producto final para el cliente y los costos en que la cadena incurre para cumplir la petición de éste.

El éxito de una cadena de abastecimiento está reflejado en su rentabilidad, por lo cual se hace necesario buscar las fuentes de ingreso y costos, los ingresos provienen de los clientes, todo los demás flujos de efectivo son intercambios de fondos que ocurren dentro de la cadena, todos los flujos de información, productos, o fondos generan costos. Por lo cual se hace necesaria una excelente gestión de la cadena de suministro en lo que comprende la administración de los activos, y de los flujos de productos, información y fondos para maximizar la rentabilidad total de la misma.

1.2.3 Estructura

Una cadena de abastecimiento típica puede abarcar varias etapas: proveedores, fabricantes, distribuidores, clientes; Cada etapa en la cadena de abastecimiento suministro se conecta a través de flujos de productos, información y fondos, estos flujos ocurren en ambas direcciones y pueden ser administrados por una de las etapas o un intermediario. Ver ilustración 1.

Ilustración 1 Esquema de cadena de abastecimiento



Fuente: <http://logistweb.files.wordpress.com/2008/08/dell2.jpg>

Una vez expuestas las ideas básicas sobre logística y cadena de abastecimiento se pasa entonces a describir los elementos básicos de una cadena y sus principales características. Dentro de estos elementos encontramos los siguientes:

- Los productos (en transformación, en transporte, en almacenamiento)
- Los consumidores o clientes
- Los proveedores
- Las plantas de producción
- Los centros de distribución
- Los distribuidores mayoristas
- Los detallistas o minoristas (*retailers*)
- Los operadores logísticos

- Los sistemas o modos de transporte
- Los sistemas de información
- La logística reversiva y la logística verde
- Otros posibles, principalmente relacionados con logística internacional (Sociedades Intermediarias Aduaneras (SIAs), operadores de puertos, policía anti-narcóticos, autoridades agrícolas, autoridades aduaneras y de impuestos, como la DIAN en Colombia, etc.)

1.2.3.1 Los productos en la cadena de abastecimiento.

Los productos en la cadena de abastecimiento son el resultado de la operación de los procesos, de la transformación de materias primas, estos se pueden clasificar de varias formas. La más conocida tiene que ver con el nivel de consumo de los clientes.

- Productos de consumo masivo.

- Puntos de venta múltiples
- Alto grado de substitubilidad.
- Ejemplos: Alimentos, elementos de aseo personal, gaseosas
- Características de distribución: Altos costos y amplia distribución en muchos puntos.

- Productos de consumo medio.

- Puntos de venta más reducidos
- Mayor diferenciación entre productos de diversas marcas
- Ejemplos: Muebles, electrodomésticos, automóviles
- Características de distribución: Puntos de distribución reducidos y costos medios de distribución.

- Productos especializados.

- Lugares especializados de ventas y gran diferenciación de marcas
- Ejemplos: Instrumentos musicales, carros de lujo.

1.2.3.2 Los sistemas de información

Los sistemas de información de la cadena de abastecimiento son el principal elemento de la cadena para muchos autores (CHOPRA, 2008). Si no existe información veraz, precisa, actualizada y a tiempo, los procesos de diseño, planeación, operación y administración de la cadena de abastecimiento serían imposibles de llevar a cabo.

Existen múltiples sistemas de información integrados, tales como SAP y ORACLE, denominados ERPs (*Enterprise Resource Planning*), los cuales suministran e integran la información de toda la cadena de abastecimiento, a través de módulos clave, como pueden ser los de compras y proveedores, finanzas y contabilidad, recursos humanos, planeación de producción, planeación y operación de transporte (*Transportation Management Systems TMS*), sistemas de administración de bodegas (*Warehouse Management Systems WMS*), módulos de pronósticos e inventarios, módulo de administración de las relaciones con el cliente (*Customer Relationship Management CRM*), entre otros posibles.

1.2.4 Operaciones típicas

Dentro de las operaciones típicas encontramos:

Administración del Portafolio de Productos y Servicios: Es la oferta que la compañía hace al mercado. Toda la Cadena de abastecimiento se diseña y ejecuta para soportar esta oferta.

Control de Producción: Derivado de las políticas particulares de servicio que tenga la compañía y de la administración de la demanda, se encarga de programar y desarrollar la producción interna y, como consecuencia, dispara la actividad de abastecimiento de insumos.

Abastecimiento: Incluye proveer los insumos necesarios para satisfacer las necesidades de producción (materia prima y materiales) cuidando los tiempos de entrega de los proveedores y los niveles de inventario de insumos.

Distribución: Se encarga de custodiar insumos y producto terminado (en algunas organizaciones solo producto terminado), hacerlo llegar a los Clientes y/o a su red

de distribución, que puede incluir otros almacenes ó centros de distribución (CDs) ó no.

1.2.5 Directrices y métricas.

Para entender como una compañía puede mejorar el desempeño de la cadena de abastecimiento en términos de capacidad de respuesta y eficiencia, se deben examinar las directrices del comportamiento de la misma: instalaciones, inventario, distribución, información, aprovisionamiento, y fijación de precios.

1.2.6 Fases de decisión:

En la administración exitosa de una cadena de abastecimiento se requiere la toma de decisiones relacionadas con el flujo de información, productos y fondos, estas decisiones se clasifican en tres categorías:

a. Estrategia o diseño de la cadena de abastecimiento: En esta etapa la compañía decide cómo estructurar la cadena de abastecimiento durante los siguientes años, como debe ser la configuración de la cadena, como serán distribuidos los recursos y qué procesos se llevaran a cabo en cada etapa.

Las decisiones tomadas en esta etapa incluyen la ubicación y capacidades de producción, los productos que se fabricaran o almacenaran en varias ubicaciones.

b. Planeación de la cadena de abastecimiento: En esta fase se toman decisiones para un periodo de un trimestre a un año, la planeación incluye tomar decisiones respecto a cuales mercados serán abastecidos y desde que ubicaciones, la subcontratación de fabricación, las políticas de inventario.

c. Operación de la cadena de abastecimiento: El horizonte de tiempo en esta fase es semanal o diario y se toman decisiones sobre pedidos de clientes, se distribuyen el inventario o la producción entre cada uno de los pedidos, se establece la fecha en que deben completarse los pedidos, se generan las listas de materiales, se decide sobre la ruta de distribución y se establecen itinerarios.

1.2.7 Enfoque de los procesos

1.2.7.1 Enfoque empuje / Jalonar

Los procesos de una cadena de abastecimiento se clasifican dentro de varias categorías como: Make to Order, Make to stock, Assembled to order (ATO), Engineering To Order.

Con los procesos de jalonar (Make to Order), la ejecución se inicia en respuesta a un pedido del cliente, en estos procesos se conoce con certidumbre la demanda del cliente. Con los procesos de empuje (Make to stock), la ejecución se inicia en anticipación a los pedidos del cliente, no se conoce la demanda del cliente y se deben realizar pronósticos, se trabaja en un ambiente de incertidumbre; La empresa objeto del estudio presenta un enfoque de Make to stock.

1.2.8 Desempeño de la cadena de abastecimiento

En la planeación existen tres enfoques muy importantes dentro de la gestión de la cadena de abastecimiento sobre los cuales la gerencia debe tomar decisiones que afectarán a la empresa drásticamente, puesto que estas decisiones influirán en los resultados sobre el nivel de servicio al cliente, el nivel de inversión y todos los costos. Estos son las estrategias: la localización, el inventario y el transporte.

La planeación contempla tres áreas principales sobre las cuales se deben adoptar estrategias para la toma de decisiones en el diseño de la cadena. Como se puede ver, estas áreas incluyen decisiones sobre inventario, almacenamiento y transporte que pueden afectar en algún nivel las decisiones de localización, esta situación se presenta porque las áreas no solo afectan el nivel de servicio, sino que se afectan entre ellas al estar relacionadas. Por ejemplo, el sistema de control de inventarios utilizado en los puntos de almacenamiento de la cadena puede afectar la ubicación de estos puntos o el modo de transporte utilizado entre estos. Por esta razón las estrategias a adoptar mencionadas anteriormente deben también considerar la relación entre las áreas para llevar a cabo la planeación de la cadena.

1.2.9 Modelación matemática

La optimización es una herramienta adecuada al diseño de redes, en el cual se toman decisiones importantes que consideran muchos aspectos logísticos, relacionadas al número, localización y tamaño de los almacenes en la red logística.

Los problemas de optimización se originan cuando se debe tomar la decisión de asignar de la mejor manera posible, es decir de forma óptima recursos limitados a actividades que compiten entre sí por ellos, con el fin de alcanzar los mejores resultados (HILLIER, 2010).

En la optimización de la cadena de abastecimiento encontramos un sin número de variables complejas que se deben tener en cuenta para la toma de decisiones de planeación en busca de la minimización de costos, “para el análisis de estas variables y la solución de estos problemas se emplean modelos matemáticos los cuales enmarcan la técnica de programación lineal para la optimización, ayudan en la toma de decisiones industriales y en la simulación para resolver situaciones problemáticas complejas en logística, manufactura, almacenamiento, transporte y redes de distribución”¹.

Los modelos describen la relación entre variables de decisión, restricciones y objetivos, su presentación más usual es en forma de un conjunto de ecuaciones matemáticas, en donde el modelo ha de representar el sistema real para el cual se desea tomar decisiones.

La Investigación de Operaciones usa el método científico para explorar e investigar los problemas que deben ser solucionados. En particular, el proceso comienza por la observación cuidadosa y la formulación del problema incluyendo la recolección de datos pertinentes, continua con la construcción del modelo matemático, posteriormente su validación, y las respectivas conclusiones /soluciones, las cuales se espera que sean validas también para el problema real.

La investigación de operaciones se puede definir como la aplicación de métodos científicos en la mejora de la efectividad en las operaciones, decisiones, la principal característica consiste en construir un modelo del sistema del cual se pueden predecir y comparar los resultados de diversas estrategias, decisiones, el

¹ TRANSFORMER, Optimización de la cadena de abastecimiento [En línea] 2005 [Citado Marzo - 15 -2012] Disponible en internet: [http:// www.e-transformer.com](http://www.e-transformer.com).

objetivo es ayudar a los responsables a determinar su política y actuaciones en forma científica.

1.2.9.1 Elementos básicos para la planeación y optimización

En la optimización de las cadenas de abastecimiento podemos encontrar dos tipos de problemas o situaciones. Primero, si la cadena ya existe y se está tratando solamente de optimizar los flujos de productos. En este caso se aplican generalmente programación lineal.

Segundo, si toda la cadena o parte de ella aún no existe y se está, por ejemplo, definiendo una nueva localización de una planta o de uno o varios centros de distribución (CDs), se generan problemas de optimización lineal entera-mixta. (Vidal, 2009)

En la práctica, muchas personas se cuestionan si para la gestión de CAs es necesario utilizar modelos su argumento principal es que, de una u otra forma, las CAs existen, funcionan, le prestan el servicio al cliente y generan utilidades. La gran pregunta es, ¿pueden estas cadenas funcionar de la misma o mejor forma con menos recursos comprometidos? Es decir, ¿están estas cadenas funcionando en forma óptima o cercana a la óptima? Es muy dudoso que esto sea así, dadas las numerosas evidencias de suboptimización que existen en la mayoría de las cadenas de abastecimiento, especialmente en lo relacionado con elevados costos de producción, niveles de inventarios, productos agotados, niveles de servicio y en lo que atañe a elementos del sistema de transporte, tales como el ruteo y programación de vehículos y el diseño de redes, por mencionar sólo algunos factores. “Así, uno de los temas más apasionantes de la administración de la cadena de suministro y de la logística es el de formular modelos matemáticos, cuyas soluciones brinden respuesta a los anteriores interrogantes”².

En los países en vía de desarrollo no es fácil encontrar la utilización de herramientas basadas en programación (Vidal, 2009), a nivel de investigación se encuentran trabajos como del profesor Carlos Julio Vidal de la universidad del valle, el cual se ha enfocado en la optimización de las cadenas de abastecimiento.

² VIDAL, Carlos Julio. Planeación optimización y administración de la cadena de abastecimiento, Programa Editorial – Universidad del Valle, 2009.

A nivel industrial encontramos en una empresa importante del país del sector de bebidas que desde 1991 utiliza este tipo de herramientas para apoyar sus procesos en la toma de decisiones (Velásquez 2000). Otras experiencias a nivel de usuario final se tienen prototipos en fase de desarrollo (Beltrán et al.2004. Saldaña et al 2003, Velásquez 2003).

Hernández et al 2004, desarrollaron una modelación matemática de producción y distribución determinística aplicada a una empresa de suministros médicos para la optimización de toda la cadena de abastecimiento.

Como Shapiro (2004, p. 1) lo menciona, “Los modelos de optimización son herramientas necesarias y deseables para identificar decisiones efectivas en la cadena de abastecimiento. Son las únicas herramientas capaces de analizar las complejas interacciones de las decisiones tomadas a lo largo de la cadena de abastecimiento de la compañía de una forma holística”. Esto justifica aún más la utilización de modelos matemáticos como herramientas básicas para la toma de decisiones en la CA y en logística³.

Esto nos indica que la programación lineal, con el pasar del tiempo se ubica como un elemento importante en el desarrollo de la construcción de modelos de optimización. Los conceptos matemáticos deben ser desglosados y ajustados al tema empresarial, de tal forma que permitan ganar tiempo y realizar análisis de diferentes escenarios, para tomar decisiones con probabilidades de error muy bajas.

1.2.9.2 Diseño y solución del modelo matemático.

Las etapas del estudio de Investigación y diseño del modelo matemático son las siguientes:

- a. Definición del problema de interés y recolección de los datos relevantes.

En esta etapa se realizará el estudio del sistema actual de la empresa y se presentara el problema a analizar, se definirán los objetivos del sistema es decir que se desea optimizar, se identificarán las restricciones y las variables implicadas, de igual manera se realizará la recolección de datos relevantes del

³ AMBROSINO, D., y SCUTELLA, M.G., Distribution Network Design: New Problems and Related Models. European Journal of operational Research, Vol. 165, 2005, p. 610-624

problema, datos que permitan la comprensión del problema y aporten a la formulación correcta del problema.

b. Formulación de un modelo matemático que represente el problema.

Esta consiste en la toma de decisión del modelo a utilizar para representar el sistema. El modelo debe relacionar las variables de decisión con los parámetros y restricciones del sistema. Los parámetros (o cantidades conocidas) se obtendrán a partir de datos pasados.

c. Desarrollo de un procedimiento basado en un software para derivar una solución al problema a partir del modelo.

Una vez que se tiene el modelo, se procede a derivar una solución matemática empleando un software para resolver problemas y ecuaciones.

d. Análisis de resultados.

Se realiza un análisis de los resultados arrojados por el modelo y se compararan con los costos actuales del sistema, y verificar si el modelo si logra mejorar los costos relevantes de la operación.

Este análisis estará apoyado en la comparación de la situación actual con los resultados obtenidos, y así analizar si es viable o no la estructuración de la nueva configuración.

Después de definir el problema de optimización, se entrega a un solucionador, es decir a un tipo de algoritmo inmerso en un programa de computador, el cual mediante una serie de pasos y reglas lógicas, se encarga de buscar una solución que se acerque al objetivo, al mismo tiempo que cumpla con las restricciones impuestas.

2 INFORMACIÓN DE LA EMPRESA

La empresa en la cual se basó el estudio, pertenece al sector de consumo masivo de snacks. En la actualidad cuenta con dos plantas de producción, ubicadas en el departamento del Cauca y Antioquia, en las cuales se fabrican diversas líneas de productos que son distribuidos a las agencias de ventas en diferentes zonas del país. Ambas plantas tienen en común la fabricación de una línea de productos extruidos, que son distribuidos en su mayoría a la zona de Antioquia y costa caribe.

2.1 ANÁLISIS DEL SECTOR

La industria de Snacks en Colombia es una industria que está valorada en más de dos billones de pesos, según datos de Euromonitor (www.euromonitor.com.co). Esto lo convierte en un sector de relevancia para la economía del país.

Tabla 1 Sales of Sweet and Savoury Snacks by Category: Value 2006-2011

Col\$ billion	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Chips/Crisps	777.53	838.65	923.11	986.26	1,048.52	1,132.41
Extruded Snacks	295.13	326.13	364.88	399.83	428.43	465.05
Fruit Snacks	34.91	38.90	43.27	45.86	48.42	51.85
Nuts	213.22	232.94	254.13	267.47	279.58	296.10
Popcorn	62.34	65.73	72.32	80.97	86.49	92.67
Pretzels	-	-	-	-	-	-
Tortilla/Corn Chips	281.94	305.84	342.22	375.36	407.59	443.34
Other Sweet and Savoury Snacks	12.43	13.71	15.12	16.42	17.66	18.89
Sweet and Savoury Snacks	1,677.49	1,821.90	2,015.04	2,172.18	2,316.69	2,500.31

Source: Euromonitor International from official statistics, trade associations, trade press, company research, store checks, trade interviews, trade sources

En la categoría de snacks en Colombia se destacan tres fabricantes, Frito Lay, Yupi y Super Ricas, los dos primeros de cobertura nacional y el último con gran posicionamiento en la capital del país. Entre sus productos principales están: papas, mixtos, extruidos de maíz, tortillas, maní, plátanos y harinas. Sin embargo, entre los snacks también se incluyen otro tipo de alimentos como los cereales, galletas, chocolates, que hacen parte de la dieta de grandes y pequeños, pero que

no son considerados comidas principales. La diferencia entre unos y otros radica en los momentos de consumo. El reto para cada marca y producto es convertirse en la primera opción del comprador.

Tabla 2 Sweet and Savoury Snacks Company Shares 2006-2010

% retail value rsp	2006	2007	2008	2009	2010
Frito-Lay de Colombia Ltda	51.87	51.92	51.00	51.07	50.98
Comestibles Ricos Ltda	9.04	8.94	9.57	9.90	10.21
Productos Ramo SA	6.41	6.43	6.38	6.50	6.54
Cía de Galletas Noel SA	3.25	3.18	3.32	3.39	3.38
Cía Nacional de Pasabocas Piquitos Ltda	2.63	2.65	2.61	2.65	2.67
Cía Nacional de Chocolates SA	2.95	2.96	2.44	2.38	2.23
Cía Internacional de Alimentos SA	1.89	1.89	1.91	1.91	1.81
Chocolates Triunfo SA	1.36	1.37	1.39	1.36	1.34
Congrupe Ltda	1.13	1.10	1.11	1.16	1.16
Comestibles Italo SA	1.24	1.25	1.23	1.20	1.15
Dulces Emilita Ltda	1.03	1.04	1.05	1.03	1.00
Mebo Ltda	0.67	0.65	0.66	0.68	0.69
Productos Yupi SA	0.59	0.58	0.64	0.66	0.69
Frigoríficos de la Costa SA	0.56	0.58	0.59	0.58	0.57
Condimentos Monserrate SA	0.34	0.35	0.35	0.35	0.34
Productos Harrison Ltda	0.32	0.33	0.33	0.33	0.32
Nabisco Royal Colombiana SA	0.41	0.42	0.31	0.30	0.30
Agrinco SA	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23
Productos Johnny's de Colombia Ltda	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23
Productos Fulgor Ltda	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22
Signa Grain Ltda	0.17	0.17	0.17	0.18	0.19
Loblaw Brands Ltda	0.17	0.17	0.17	0.18	0.19
Comestibles Alfa Ltda	0.17	0.17	0.17	0.17	0.16
Colombina SA	0.15	0.15	0.16	0.17	0.16
Harrods Ltda	0.16	0.16	0.17	0.16	0.16
Procter & Gamble de Colombia SA	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Doña Betty Productos	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Savoy Brands Colombia SA	-	-	-	-	-
Private Label	5.77	5.74	5.82	6.30	6.31
Others	6.85	6.92	7.56	6.50	6.56
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Source: Euromonitor International from official statistics, trade associations, trade press, company research, store checks, trade interviews, trade sources

El mercado de snacks en el país, incluyen papas fritas, cereales, nueces surtidas, frutas secas, caramelos y otros productos que frecuentemente se consumen entre comidas. Estos “bocados” en la mayoría de sus empaques presentan novedosas imágenes y texturas para llamar la atención de los consumidores. En el mercado colombiano grandes empresas multinacionales han realizado importantes fusiones

con empresas nacionales, absorbiendo y concentrando gran parte del mercado nacional de snacks con variedad de productos extranjeros particulares. La multinacional Frito Lay, filial del Grupo Pepsico, adquirió la empresa Crunch de Medellín que vendía papas fritas en Antioquia, la costa y el Eje Cafetero. Posteriormente compró la Industria Gran Colombia que pertenecía al grupo Savoy, dueña de la marca Jack's Snacks con la que obtuvo a Chitos, Gudis, Manimoto y Boliqueso. Más adelante, compró Industrias y Pasabocas Margarita que se había convertido en su principal competidor. De esta manera, Frito Lay se hizo con cerca del 60% del mercado, el resto, se lo reparten varias compañías como Productos Yupi y Comestibles Ricos Ltda, esta última con una fuerte red de distribución y de mercadeo, consolidada a lo largo de 48 años.

Yupi ha logrado fortalecimiento en el mercado nacional con la ampliación del portafolio de productos y lanzamiento de algunos nuevos como las Tortillas de Maíz Supertatos, las Palomitas de Caramelo, Besitos y Rosquillas. En la actualidad cuenta además con las Tocinetas Fred, las más reconocidas en el mercado nacional y productos de inspiración cultural como arepas y empanadas.

Comestibles Ricos por su parte, ha impulsado una estrategia a partir de la marca, la publicidad y la innovación de productos. Se destacan las marcas de papas fritas Súper Ricas, Todo Rico, Tajamiel y Platanitos.

2.1.2 Competitividad

Las ventajas competitivas en el mercado de snacks se han centrado principalmente en las estrategias de mercadeo y los canales de comercialización, más que en estrategias asociadas a los costos o a los precios. En general el comportamiento de la industria de pasabocas ha sido el más destacado y positivo para el procesamiento nacional de papa, plátano y yuca y el que mejor ha competido con los productos importados.

De acuerdo con Brand Aid Team Colombia, especialistas en la planeación estratégica de mercados, en el país los snacks de mayor consumo son las papas fritas, les sigue los productos surtidos, los extruidos, las tortillas de maíz, el maní, los productos fabricados con harina de trigo y los plátanos. El 80% de las ventas tiene lugar en las tiendas y el 20% restante corresponde a las grandes superficies y supermercados.

2.1.3 Exigencias del consumidor

La tendencia demuestra que los consumidores en el país buscan productos con connotaciones saludables y por eso los más jóvenes se inclinan hacia las barras de snacks que permiten niveles energéticos más elevados y prometen beneficios de salud. Nacional de Chocolates es la compañía líder en la elaboración de productos con esas características y ha introducido en el mercado productos como barra de Chocolista, granola Tosh y barras de cereal Sport. Por otra parte, las generaciones de más edad, prefieren los productos tradicionales entre los que se destacan las tortas y las galletas. Productos Ramo y Noel son dos importantes protagonistas del mercado para esa población. El mayor reto para las empresas de snacks es combatir la percepción de que dichos productos no son un alimento y en gran parte, esa es la principal razón por la que las compañías de alimentos listos y empacados han decidido incursionar, cada vez más en la categoría de saludables⁴

2.2 ESTRUCTURA DE COSTOS.

Dentro de la estructura de costos en la Supply Chain se puede mencionar los siguientes costos que tienen gran incidencia en el total:

1. Costo de adquisición o de manufactura. Considera costo de mano de obra directa o indirecta, costo de materiales directos o indirectos, gastos generales (se expresa en unidad monetaria por unidad de producto).
2. Costos por ordenar. Costos administrativos y de oficina involucrados en el proceso de una orden de compra, despacho, trámite del pedido, costo de transporte o costo de iniciar una tanda de producción, en caso de fabricación (se expresa en unidad monetaria por orden).
3. Costo de almacenamiento. Dinero inmovilizado en inventario, costo del espacio de almacenamiento, costo de manipulación, costo de seguro, obsolescencia, deterioro de calidad, costo de tener registro de inventario (expresado en unidad monetaria / unidad/unidad de tiempo).

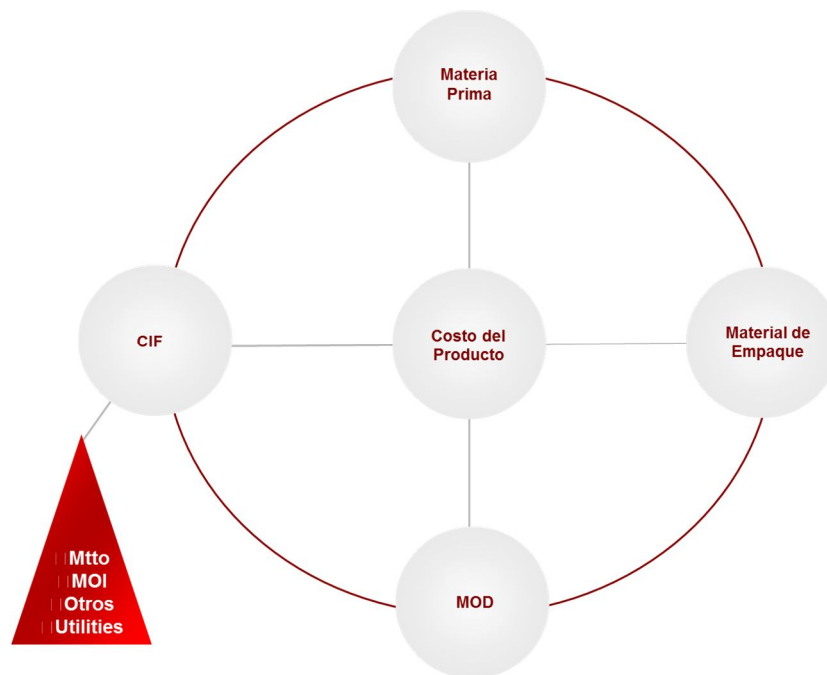
⁴ El mercado de los snacks La revista para la industria de alimentos [En línea] <http://www.revistaalimentos.com>. publicación Oct 2011, edición 11. Nov. 15 2011.

4. Costo por faltantes/escasez (déficit). Considera los requerimientos de tiempo extra ocasionado por el déficit, tiempo adicional de oficinas administrativas, costo de apresuramiento, pérdida de reputación, costo especial de manipulación y embarque, pérdida de tiempo de producción y cualquier otro costo atribuible al déficit (expresado en unidad monetaria/unidad-unidad de tiempo). No considera ventas perdidas porque supone que esto no ocurre ya que contemplan solo retrasos en las entregas.

La estructura de costos típica para la manufactura de snacks esta conformada por materia prima (MP), mano de obra directa (MOD), material de empaque (ME), y los costos indirectos de fabricación (CIF). Dentro de los CIF vemos inmersos los gastos de mantenimiento (Mtto), mano de obra indirecta (MOI), los utilities como el agua, energía, gas y otros como insumos para realizar aseos, gastos de seguridad entre otros.

Los costos del producto para la industria de pasabocas están representados como se muestra en la ilustración 5.

Ilustración 2 Estructura de Costos



Fuente: Datos empresa objeto del estudio.

La distribución de costos porcentuales según el análisis del sector está dada de la siguiente forma:

1.	MP:	60%
2.	ME:	20%
3.	CIF:	12%
4.	MOD:	8%

Sumado a esto tenemos los costos de almacenamiento de materias primas (MP), producto terminado (PT) y los costos logísticos de llevar el producto hasta donde el cliente. El conjunto de estos conforman los costos relevantes totales.

Muchos académicos y practicantes han señalado que las inversiones en inventarios representan una gran proporción de los bienes de la compañía. De hecho, estiman que la inversión puede llegar a representar entre el 20 y 40% del total.

El inventario encapsula el dinero; y una mala gestión del mismo puede afectar el estado financiero de las compañías. Tener demasiado inventario es tan problemático como disponer de poco. Demasiado, implica costos adicionales innecesarios relacionados con el almacenaje, seguros, impuestos y los correspondientes al deterioro u obsolescencia de los artículos que se mantienen en existencia. Dichos costos son crecientes con el aumento del inventario. Sin embargo, existen otros que disminuyen cuando el inventario aumenta. En general, los costos relevantes del inventario se rigen bajo los siguientes parámetros:

Parámetros

$A =$ El costo fijo de alistamiento u ordenamiento [\$/orden]

$D =$ La tasa de demanda del ítem [unidades/año]

$r =$ El costo de mantener el inventario [%/año ó \$/(\$. año)]

$v =$ El valor unitario del ítem [\$/unidad]

Variable de decisión

$Q =$ Tamaño del pedido o de la orden [unidades]

Función objetivo

$CTR(Q) =$ El costo total relevante en función del tamaño de pedido Q [\$/año]

Así el costo total relevante anual en función de Q vendría dado por:

$$CTR = \frac{AD}{Q} + Ivr + Dv$$

Donde:

$$I = \text{Inventario promedio}$$

Tradicionalmente, una empresa siempre tiene intereses en conflicto: Ventas pretende mantener un inventario alto y variado para poder surtir cualquier pedido; Compras también busca manejar grandes inventarios, al querer aprovechar los descuentos y fluctuaciones decrecientes en los precios; Producción quiere programar y realizar grandes volúmenes, procurando reducir los costos unitarios; en cambio, Finanzas se interesa por la rentabilidad de la empresa y en el flujo neto de efectivo, por lo que trata de bajar los inventarios; con objeto de evitar las pérdidas por obsolescencia, Ingeniería tiende a disminuir los inventarios.

De este modo, lo que debe importar realmente es poder determinar el inventario óptimo de cada artículo, que equilibre los intereses de las partes en conflicto. Por tanto, los costos relevantes ya descritos dependen de la cantidad adquirida (producida) por orden, de la frecuencia de adquisición (producción), o de ambas variables. En concreto, resolver un problema de inventario consiste en definir cuánto y cuándo debe ordenarse.

3 PROBLEMA A TRATAR

3.1 ANTECEDENTES

Toda organización busca lograr y mantener una competitividad, satisfacer a sus clientes, minimizar sus costos e incrementar su rentabilidad, para esto se requiere de herramientas que les permitan tomar decisiones de manera oportuna y adecuada, encaminadas a reducir los costos totales que se encuentran en los procesos de compra de materias primas, producción y distribución.

La toma de estas decisiones se torna difícil por el tamaño y complejidad de las empresas y por la gran cantidad de variables que manejan, en especial cuando se tienen varios productos, materias primas, plantas de producción y clientes distribuidos en diferentes zonas geográficas, por lo tanto saber dónde producir, cuales productos, y que clientes atender, se convierte en un tema de planeación en donde es oportuno la aplicación de la investigación de operaciones y de modelos matemáticos, los cuales ayudan a la disminución y optimización de los costos totales (TRANSFORMER, 2012).

Con este estudio se dará una propuesta de solución a la empresa descrita con anterioridad la cual tiene una capacidad limitante en la planta de Antioquia. En la actualidad la capacidad de esta planta es de 113.215 cajas de producto terminado y la venta que en el 80% es en la región norte del país no puede ser suplida desde dicha planta. La planta del Cauca tiene una capacidad de fabricar 39.600 cajas disponibles para esta línea de fabricación. El promedio de la demanda por mes es de 91.2000 cajas lo que obliga a la compañía a fabricar en la planta de Cauca el excedente.

Para la empresa es de vital importancia conocer el efecto de sumar los costos de producción, distribución, inventarios, al igual que el margen bruto de contribución generado para cada uno de los productos según la ubicación geográfica de los clientes, definiendo como entregable el análisis respectivo para determinar cuánto, en qué planta, y qué productos debe fabricar para satisfacer la demanda, minimizando los costos, sin dejar a un lado otros factores tales como eficiencia y capacidad de cada una de las plantas.

Con este modelo matemático se tiene como objetivo dar respuesta a los interrogantes planteados, minimizando los costos totales relevantes y optimizando la cadena de abastecimiento.

Con el presente modelo se determinara las unidades de producto a fabricar desde cada una de las plantas para ser despachadas a cada cliente según su ubicación geográfica. Esto se debe lograr con el menor costo posible que permita a la compañía mantener una operación rentable.

El análisis de resultados incluirá si entre varios factores la posibilidad de hacer inversiones en la planta de Antioquia para ampliar su capacidad y de esta forma rentabilizar la operación sin necesidad de fabricar en la planta de Cauca.

3.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

La empresa objeto del estudio dentro de su portafolio maneja una línea de productos cuyo margen de contribución es menor al esperado, provocado principalmente por una fuerte competencia del mercado nacional que ha obligado a bajar los precios de venta. Sumado a esto, se evidencia una falta de análisis en la programación de la producción y la distribución, ejecutando la operación a través de las 2 plantas con las cuales cuenta la compañía, sin tener en cuenta aspectos tan importantes como la eficiencia y productividad de cada una de estas, lo que conlleva a una diferenciación en los costos de producción, por otro lado se realiza una distribución sin analizar la ubicación geográfica de los distritos, haciendo más costosos los fletes de transporte.

De acuerdo a esta situación se hace necesaria la estructuración de una herramienta que permita tomar decisiones de manera rápida, obteniendo un plan de producción y distribución apropiadas cuyo objetivo sea mejorar los márgenes de rentabilidad con la disminución de los costos relevantes totales.

Con base en lo anterior se formula los siguientes interrogantes:

¿Cuáles y cuántos productos se deben fabricar en cada planta? ¿Qué asignación de demanda deberán tener los centros de distribución? ¿Se debe aumentar la capacidad de las plantas? de ¿cuál? Considerando el nivel de eficiencia y productividad de cada una de las plantas de manufactura y la ubicación geográfica de los distritos.

4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

4.1 OBJETIVO GENERAL

Minimizar los costos asociados en la cadena de abastecimiento, incluyendo producción, almacenamiento y distribución por medio de un modelo matemático de programación lineal.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estructurar un modelo matemático de programación lineal para minimizar los costos de producción, almacenamiento y distribución en la Supply Chain
- Analizar las variables resultantes del modelo de acuerdo con la operación real de la compañía validando los resultados obtenidos.
- Analizar el plan de producción y la red de distribución actuales a fin de establecer cómo debe ser la configuración para minimizar los costos actuales.
- Plantear escenarios por medio de análisis de sensibilidad que ayuden a la toma de decisiones en la organización.

5 ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto abarca el análisis de los costos en los procesos de producción, almacenamiento y distribución de la línea de expandidos en las plantas de Cauca y Antioquia para los 11 distritos del país

El desarrollo del presente proyecto se realizó al interior de una empresa de consumo masivo que pertenece al sector de snacks con conocimiento del mercado por más de 30 años. Su estrategia de operaciones es Make to Stock haciendo necesario mantener inventarios por encima de los 13 días a nivel país para evitar los agotados. Su estrategia comercial está basada en dos canales: el canal tradicional manejado por distribuidores TAT, y el canal autoservicio quien se encarga de abastecer las grandes superficies como la 14, Carrefour, Almacenes Éxito, entre otros.

La empresa en estudio cuenta con dos plantas de producción con las siguientes capacidades para la línea de expandidos:

PLANTA 1: Cauca

Capacidad instalada: 411 Toneladas/Mes

Capacidad Utilizada: 66.4%

PLANTA 2: Antioquia

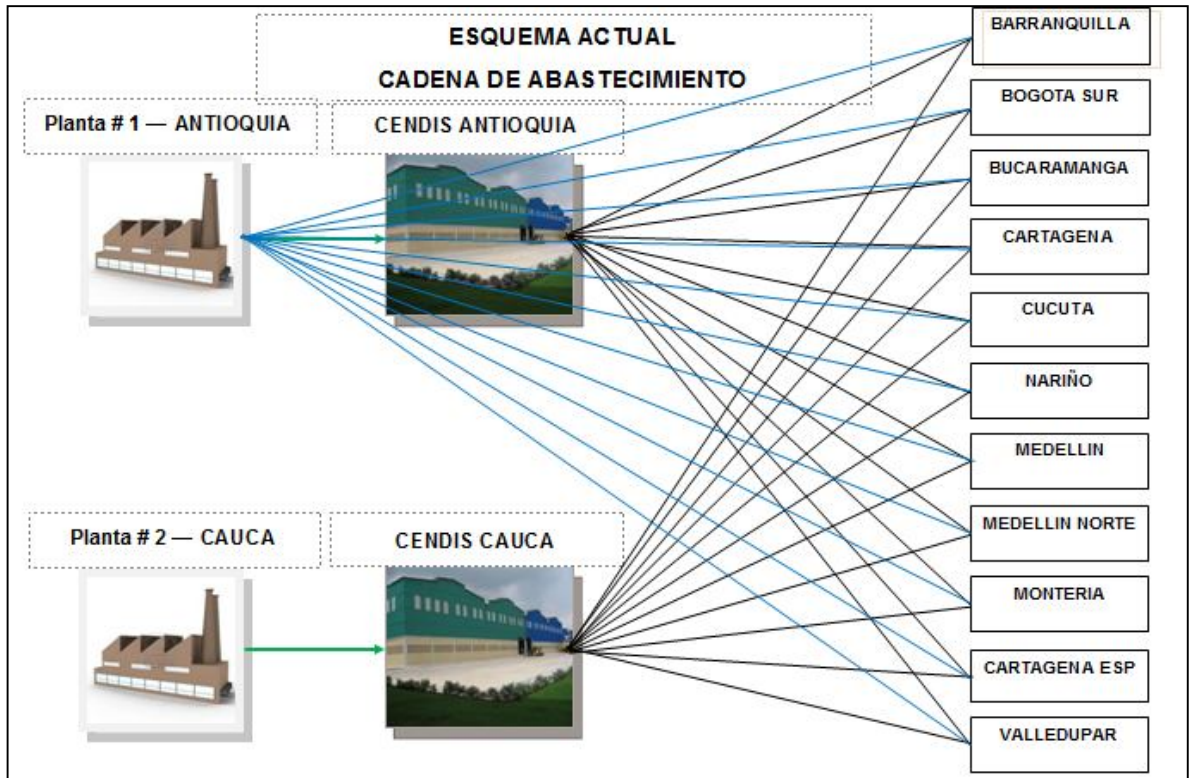
Capacidad instalada: 120 Toneladas/Mes

Capacidad Utilizada: 98%

La principal materia prima abastecida para este proceso es el Maíz triturado el cual requiere de todo un manejo especial desde la molienda hasta su aprovechamiento en el proceso de producción.

Estas dos plantas comparten la fabricación de una línea de productos los cuales en su mayoría son distribuidos a la región norte del país. Los productos expandidos tienen la característica de tener un bajo volumen y por lo tanto tiene gran incidencia en los costos de distribución.

Ilustración 3 Esquema actual cadena de abastecimiento



Fuente: Datos empresa objeto del estudio.

La compañía cuenta con 11 distritos de ventas ver mapa de distribución geográfica, los cuales tienen a cargo 34 agencias distribuidos a lo largo y ancho del país. Esta cobertura hace que la logística de distribución pueda ser un poco complicada.

Ilustración 4 Distribución geográfica de puntos de producción y ventas.



Fuente: Datos empresa objeto del estudio.

El sistema de distribución se realiza desde los centros de distribución de ambas plantas, desde la planta de Antioquia se despachan en tres tipos de vehículos (sencillo, Contenedor y Mula) y desde el Cauca se realiza solo en camiones sencillos. Esto se da por la disponibilidad de vehículos desde cada una de las regiones a los puertos marítimos del país. Debido a que los productos tienen una relación volumen/ peso muy baja, los contratos de transporte se manejan por trayecto y no por peso. Por política de la compañía el camión debe ser despachado con una ocupación superior al 98%, esto con el fin de optimizar costos.

Se necesita determinar cuántas unidades de cada producto debe producir en cada planta cada mes y cuantas unidades debo despachar de cada bodega a cada distrito cada mes con el fin de que los costos totales relevantes sean mínimos.

Debido a que los costos de inventario y a que las capacidades de almacenamiento son limitadas, es necesario mantener un registro de la cantidad de cada producto que se guarda en cada planta durante cada mes. En consecuencia, el modelo de programación lineal tiene tres tipos de variables de decisión:

1. Cantidades de producción
2. Cantidades de inventario
3. Cantidades despachadas

Ilustración 5 Procesos de la compañía



Fuente: Datos empresa objeto del estudio.

La compañía maneja un sistema de producción de acuerdo a su mapa de procesos que inicia con el diseño y desarrollo de productos. Cuando los productos han sido diseñados de acuerdo a los requerimientos del cliente se le entrega una solicitud al proceso de Logística de abastecimiento quien se encarga de hacer la gestión de aprovisionamiento de las MP a cada una de las plantas. Con las MP dentro de las bodegas el proceso de producción está en capacidad de iniciar sus operaciones de transformación hasta convertirlas en PT que es almacenado en las bodegas con el fin de disponer el producto necesario para que la logística de distribución pueda satisfacer la demanda de la gestión comercial.

De esta manera se integran todos los procesos que intervienen en la Supply chain de la compañía.

6 METODOLOGÍA DEL PROYECTO

El tipo de trabajo realizado es un análisis de una situación particular, en el cual se recoge información sistemáticamente, utilizando herramientas como La observación y las entrevistas para la recolección de información.

En el proyecto se realiza un análisis de la operación de la compañía, partiendo de la recolección de datos históricos y reales referente a los costos de producción, almacenamiento y distribución, posteriormente se formula un modelo matemático con el cual se busca la minimización de los costos, se analizan los resultados para establecer las mejores alternativas que se puedan implementar y aplicar en la cadena de abastecimiento que se ajuste al objetivo del proyecto.

Para esto se utilizan fuentes bibliográficas, publicaciones de internet y base de datos de proyectos de maestría de la Biblioteca de la Universidad Icesi y la Universidad del Valle.

Las etapas para la estructuración del estudio fueron:

- a. Definición del problema de interés y recolección de los datos relevantes.

En esta etapa se realiza el estudio del sistema actual de la empresa y se presenta el problema a analizar, se definen los objetivos del sistema es decir que se desea optimizar, se identifican las restricciones y las variables implicadas, de igual manera se realiza la recolección de datos relevantes del problema, datos que permitan la comprensión del problema y aporten a la formulación correcta de éste.

- b. Formulación de un modelo matemático que represente el problema.

Esta consiste en la tomar la decisión del modelo a utilizar para representar el sistema. El modelo debe relacionar las variables de decisión con los parámetros y restricciones del sistema. Los parámetros (o cantidades conocidas) se obtendrán a partir de datos pasados.

- c. Desarrollo de un procedimiento basado en un software para a derivar una solución al problema a partir del modelo.

Una vez que se tiene el modelo, se procede a derivar una solución matemática empleando un software para resolver problemas y ecuaciones.

d. Análisis de resultados:

Se realiza un análisis de los resultados arrojados por el modelo y se compararan con los costos actuales del sistema, y se verifica si el modelo si logra mejorar los costos relevantes de la operación.

Este análisis estará apoyado en la comparación de la situación actual con los resultados obtenidos, y así analizar si es viable o no la estructuración de la nueva configuración.

Dentro del presente estudio se realizó una evaluación de la cadena logística comprendida por el abastecimiento de materias primas e insumos, la transformación del producto y el despacho a cada uno de los clientes. Para ello se realizó un modelo de programación lineal el cual permitió entregar los resultados óptimos para poder decirle a la compañía cual debe ser su programa de producción de acuerdo a la demanda de los clientes.

6.1 RECOLECCION DE DATOS

La recolección de datos se realizó al interior de la empresa con ayuda de entrevistas directas con todas las áreas implicadas en la operación cada una de ellas suministró los datos requeridos para el modelo como se muestra en la tabla 5.

Tabla 3 Recolección de datos por Proceso

Proceso	Información
Diseño y desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> - Listas de materiales por referencia
Gestión y Soporte Financiero	<ul style="list-style-type: none"> - Costos de fabricación por referencia (MOD, CIF, Materia prima y Material de empaque) - Costos fijos de bodega de PT - Costos fijos de bodega de MP
Logística de Abastecimiento	<ul style="list-style-type: none"> - Precio de Compra de MP - Inventarios de MP en cada bodega - Capacidad máxima de bodega de MP.
Logística de Distribución	<ul style="list-style-type: none"> - Costo de Fletes desde los Cendis a los Distritos - Costo de Flete desde las Plantas a los Cendis - Costo de Fletes desde las Plantas a los Distritos - Capacidad máxima de bodega de despachos
Planeación	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda de los distritos por referencia - Política de Inventarios de MP - Política de Inventarios de PT - Comportamiento del inventario de PT - Inventario inicial de PT
Producción	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de plantas - Eficiencia de planta - Tasa de producción (cajas/hora).

Fuente: Datos empresa objeto del estudio.

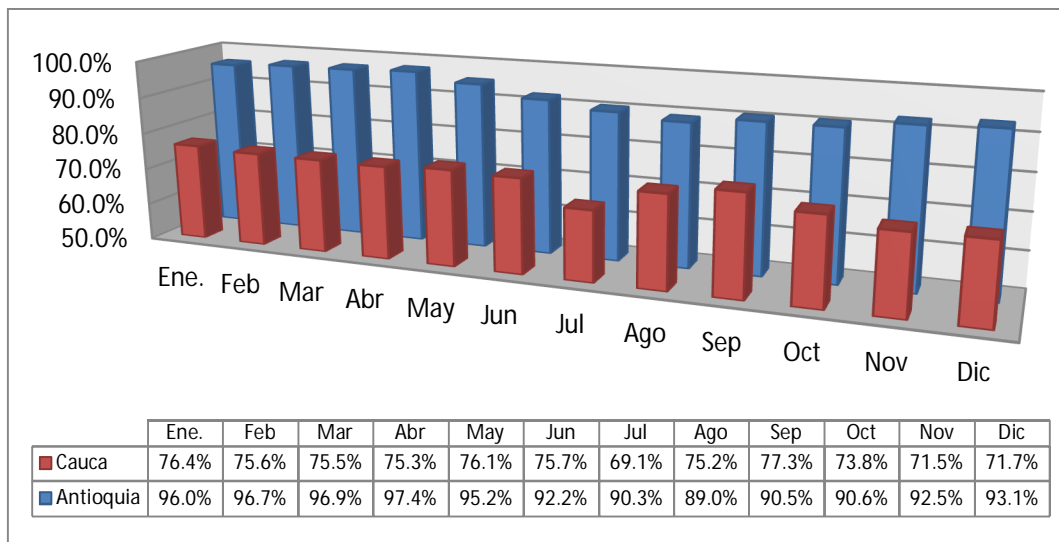
7 DESARROLLO DEL PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto es de vital importancia la información recolectada al interior de la organización. La mayoría de los problemas que se abordan desde el punto de vista de la investigación de operaciones requieren que como primera medida se establezca un conocimiento exacto del sistema que se está analizando; los objetivos, conocer los componentes y la estructura del mismo, sus límites e interrelaciones, tanto de sus componentes como del sistema con el medio donde se encuentra, determinar la información que alimenta al sistema y la información que se espera que este entregue, etc. Todo esto permite conceptualizar el problema que se está tratando de resolver, es decir realizar la definición del problema que afecta al sistema de análisis.

7.1 GESTION DE LA PRODUCCION

7.1.1 Eficiencia de plantas

Ilustración 6 Eficiencia de plantas



Fuente: Datos empresa objeto del estudio

Uno de los factores de mayor incidencia sobre los costos de manufactura en las plantas; es la eficiencia. Esta depende de la relacion que existe entre la cantidad de recursos que se utiliza y la de productos que se obtiene en un periodo de tiempo determinado. De esta manera, la eficiencia aumenta cuando un proceso es capaz de producir un mayor volumen de produccion empleando la misma cantidad de recursos; o cuando utiliza una menor cantidad de recursos para producir un mismo volumen de producción.

La compañía en estudio utiliza la formula para el calculo de la eficiencia productiva definida como la relacion entre el tiempo efectivo y el tiempo operacional.

$$E_{productiva} = \frac{T_E}{T_{OP}}$$

El tiempo operacional (T_{OP}) comprende el tiempo total programado en horas, en todas las maquinas de empaque, durante cada mes.

El tiempo efectivo (T_E) es el tiempo real de trabajo en horas, teniendo en cuenta los tiempos perdidos como:

- Alistamientos
- Mantenimiento correctivo
- Disponibilidad de material
- Reprocesos o rechazos por calidad

Haciendo un analisis del comportamiento de la eficiencia durante el año 2011 se encuentra que la planta ubicada en Antioquia muestra un comportamiento mejor que la planta Cauca con un promedio de 92.9% y 74.4% respectivamente. Mas adelante se realizara la evaluacion de los costos de produccion por planta con el cual se pretende ver el efecto de la eficiencia en este indicador.

Otro punto importante a tener en cuenta es que la eficiencia de planta afecta directamente los costos de MOD (mano de obra directa) y CIF (costos indirectos de fabricacion). En la medida que la eficiencia se acerca al 100% se tienen menores tiempos perdidos y por lo tanto mayores tiempos efectivos, de esta forma se controla que el personal se encuentra productivo todo el tiempo y los consumos

de utilities se conservan de acuerdo a un presupuesto estimado para cada producto.

7.1.2 Costos de producción

Para la asignación de costos se emplea el sistema de costeo por órdenes de trabajo, en el cual el objeto del costo es una unidad o caja la cual contiene en su interior varias unidades del producto según la referencia y el contenido neto de cada paquete. Cada una de las órdenes tiene asignados los recursos necesarios para su fabricación, de esta forma la orden de trabajo pasa por los diferentes procesos en los cuales se cargan los costos asociados.

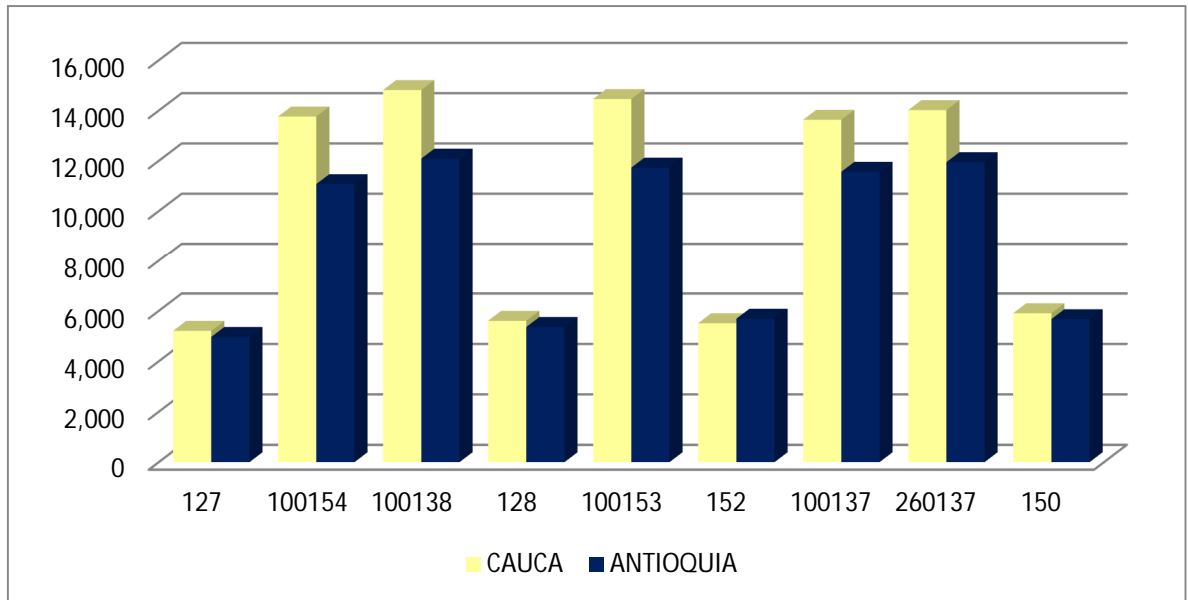
A continuación se presenta los costos de producción por cada referencia en las respectivas plantas de la compañía.

Tabla 4 Costos de producción por paca/referencia /Planta (año 2012)

CODIGO	127	150	128	152	100154	100138	100153	100137	260137
CAUCA	\$ 3,318	\$ 3,763	\$ 3,571	\$ 3,511	\$ 8,767	\$ 9,438	\$ 9,210	\$ 8,684	\$ 8,927
ANTIOQUIA	\$ 3,164	\$ 3,613	\$ 3,415	\$ 3,623	\$ 7,055	\$ 7,701	\$ 7,472	\$ 7,367	\$ 7,610
DIFERENCIA	\$ 154	\$ 149	\$ 156	\$ (113)	\$ 1,712	\$ 1,737	\$ 1,738	\$ 1,317	\$ 1,317

Fuente. Datos empresa objeto del estudio.

Ilustración 7 Costos de referencia por planta.



Fuente. Datos empresa objeto del estudio.

Haciendo una revisión de los costos de producción en ambas plantas se encuentran diferencias importantes en cada una de las referencias.

De acuerdo al comportamiento de los costos de producción en cada planta, se puede concluir que 8 de las 9 referencias analizadas presentan menores costos de producción en la planta de Antioquia, justificado principalmente por el nivel de eficiencia que se ha alcanzado con los años al especializarse en esta línea de productos. La eficiencia actual de esta planta es del 92.9%.

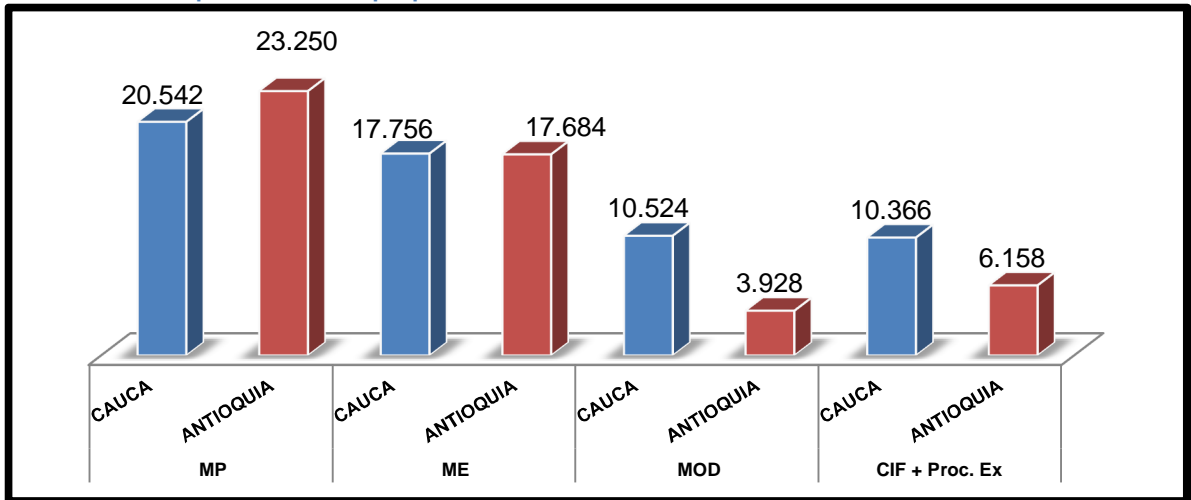
Para ahondar más en el tema se revisaran cada uno de los factores que intervienen en el costo total del producto.

Tabla 5 Participación de Costos por planta

MP		ME		MOD		CIF	
CAUCA	ANTIOQUIA	CAUCA	ANTIOQUIA	CAUCA	ANTIOQUIA	CAUCA	ANTIOQUIA
\$ 20,542	\$ 23,250	\$ 17,756	\$ 17,684	\$ 10,524	\$ 3,928	\$ 10,366	\$ 6,158

Fuente. Empresa objeto del estudio.

Ilustración 8 Participación de costos por planta



Fuente. Empresa objeto del estudio.

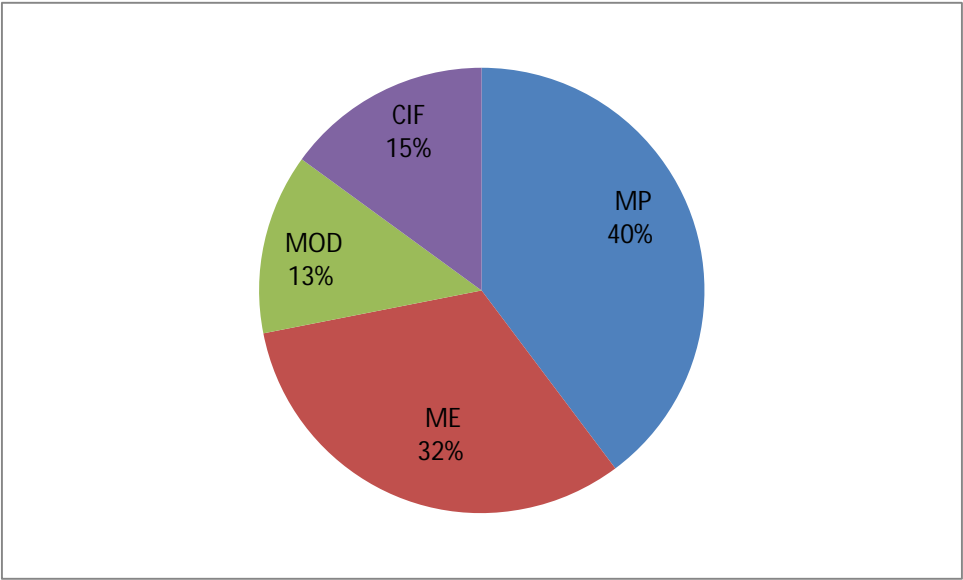
Se observa que los costos de materia prima, son más elevados en la planta de Antioquia. Esto puede ser explicado por el tamaño de la planta. La relación de la planta de Cauca a la de Antioquia es de aproximadamente 4:1, esto permite que las negociaciones por economía de escala sean mejores en el cauca, obteniendo menores precios de compra.

Los costos de material de empaque presentan un comportamiento similar en cada planta. Este material tiene la ventaja de ser no perecedero y ocupa menos espacio en almacenamiento, facilitando su compra en mayores volúmenes.

Los costos de mano de obra directa y los CIF son menores en la planta de Antioquia explicados principalmente por su alta eficiencia. Esta planta es más pequeña, facilitando la gestión en su interior que permite disminuir desperdicios y administrar adecuadamente los recursos.

La materia prima y el material de empaque son los que mayor incidencia tienen en el costo del producto. Sumados presentan una participación del 72% del total, lo cual es característica de una empresa manufacturera de alimentos.

Ilustración 9 Distribución total de costos de referencias analizadas



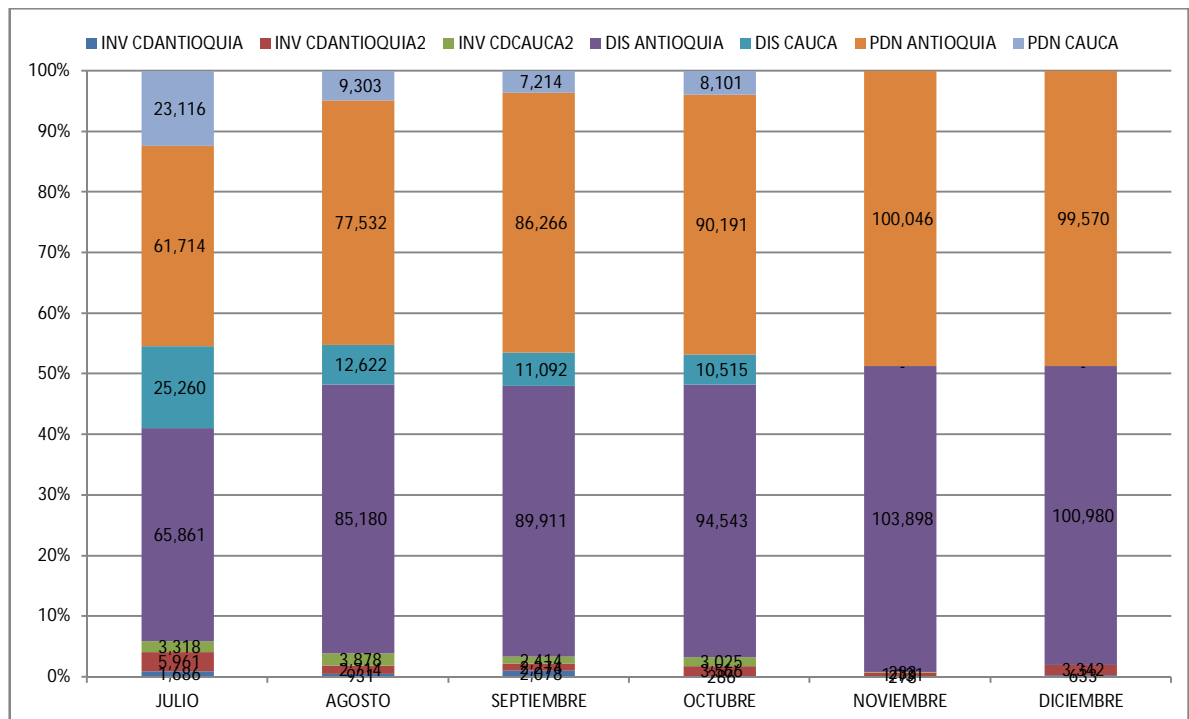
Fuente. Empresa objeto del estudio.

7.2 GESTION DE INVENTARIOS

7.2.1 Inventario de Producto Terminado (PT)

Se realizó la revisión del comportamiento de la producción, inventario y distribución en ambas plantas. En la ilustración 10 se muestran las tendencias.

Ilustración 10 Producción, Inventario y distribución periodo Julio – Diciembre 2011



Fuente. Empresa objeto del estudio.

Los inventarios presentan tendencias decrecientes en el periodo evaluado, explicado por la situación de la compañía la cual durante los meses de septiembre a diciembre estuvo en un proceso de traslado de líneas. En dicho periodo no se tuvo acompañamiento con la producción de la planta de Cauca haciendo

necesario tomar los inventarios disponibles en los cendis para satisfacer la demanda.

Durante los meses de noviembre y diciembre la producción estuvo enfocada en la planta de Antioquia alcanzando niveles de producción mayores a 100.000 cajas y una ocupación superior al 88%. Debemos tener en cuenta que la capacidad máxima de esta planta es de 113.215 cajas bajo la condición de trabajar todos los días del mes haciendo riesgosa la operación.

7.2.2 Política de inventarios

La compañía actualmente no cuenta con una política de inventarios, tiene establecido, 4 días de inventario sobre las ventas en los cendis y 15 días a nivel país, lo anterior para evitar los agotados.

7.2.3 Costos de almacenamiento

Los costos de almacenamiento se establecen de acuerdo a los gastos necesarios para operar las bodegas de PT. La compañía cuenta con dos cendis, uno en cada región desde los cuales se satisface la demanda de los distritos.

El Cendis Cauca tiene una capacidad mayor al de Antioquia por el volumen de cajas manejadas de todas las referencias. Haciendo el calculo del costo unitario por caja de producto obtenemos que en Antioquia almacenar una caja cuesta \$ 1.194 y en el Cauca \$1.044.

Tabla 6 Costos de almacenamiento

Cendis	Arrendamiento	Vigilancia	MOI	Aseo	Servicios Públicos	Costo Total
CDCAUCA2	42,000,000	11,000,000	41,440,000	5,000,000	5,000,000	\$ 104,440,000
CDANTIOQUIA2	12,000,000	2,000,000	11,840,000	2,500,000	1,500,000	\$ 29,840,000

Cendis	Capacidad Almacenamiento (Cajas)	Costo Unitario
CDCAUCA2	100,000	\$ 1,044
CDANTIOQUIA2	25,000	\$ 1,194

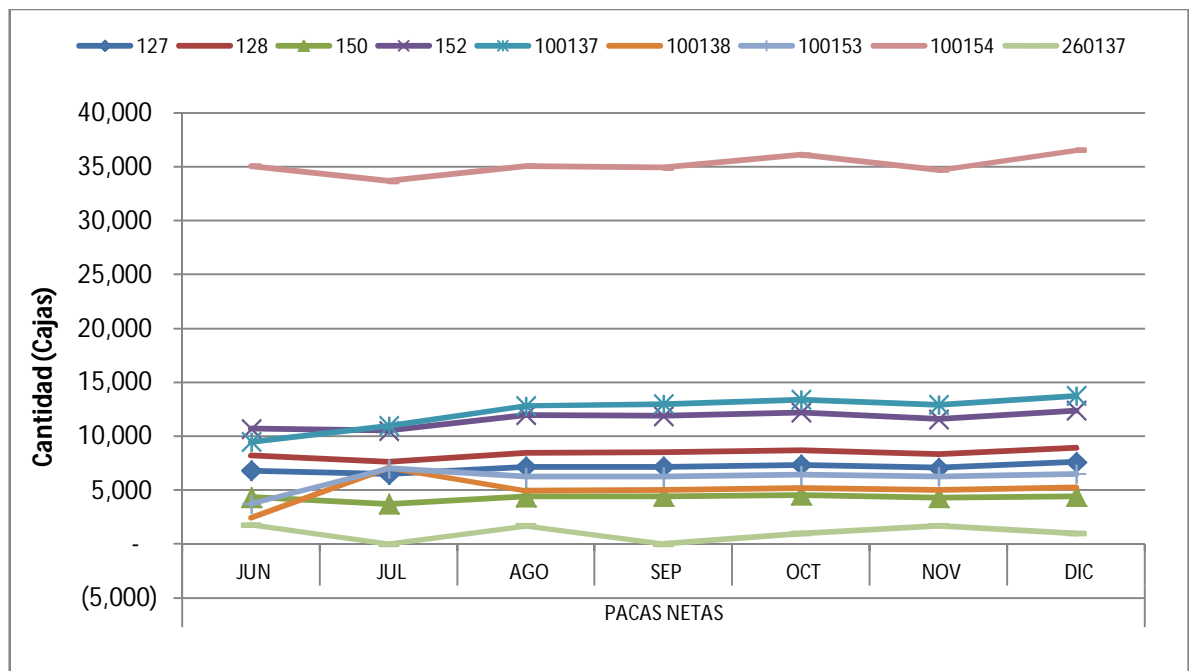
Fuente: Datos empresa objeto del estudio

7.3 GESTION DE LA DISTRIBUCION

7.3.1 Pronostico de la demanda

Los pronósticos de la demanda al interior de la compañía se realizan de acuerdo a los históricos de ventas. No se cuenta con un análisis detallado para conocer su comportamiento ni se aplican técnicas avanzadas de planeación para esta actividad. De acuerdo al análisis realizado se puede observar que la demanda tiene un comportamiento estable, por lo cual, se puede utilizar una técnica de promedio móvil simple o suavización exponencial simple de esta forma garantizamos cálculos mas precisos que ayuden a una adecuada planeación de la producción y distribución.

Ilustración 11 Comportamiento de la demanda por Referencia



Fuente: Datos empresa objeto del estudio.

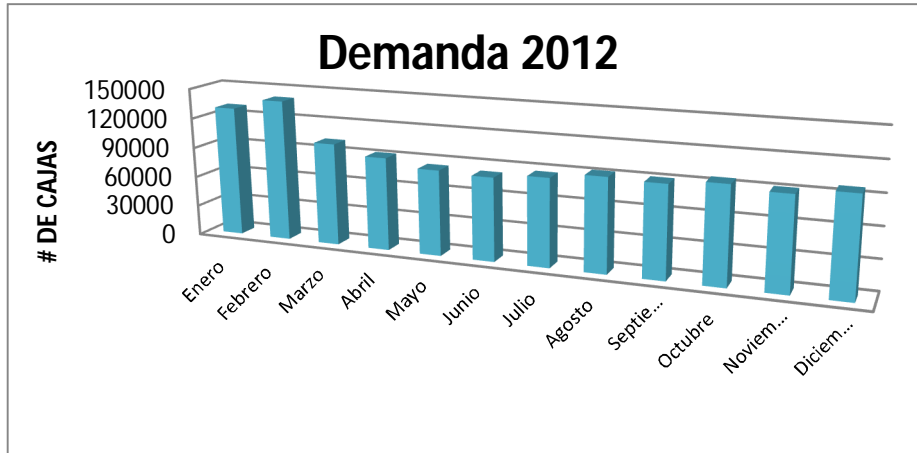
La demanda de todas las referencias durante el año 2012 es de 1.187.793 cajas, distribuidas por en los diferentes distritos por referencia de acuerdo a la tabla 8. Los meses de enero – abril incluyen los datos reales de distribución.

Tabla 7 Comportamiento de la demanda

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
129,761	140,547	101,673	92,241	84,741	82,596	87,097	92,780	91,194	95,865	91,955	97,433

Fuente. Datos empresa objeto del estudio.

Ilustración 12 Comportamiento de la demanda año 2012



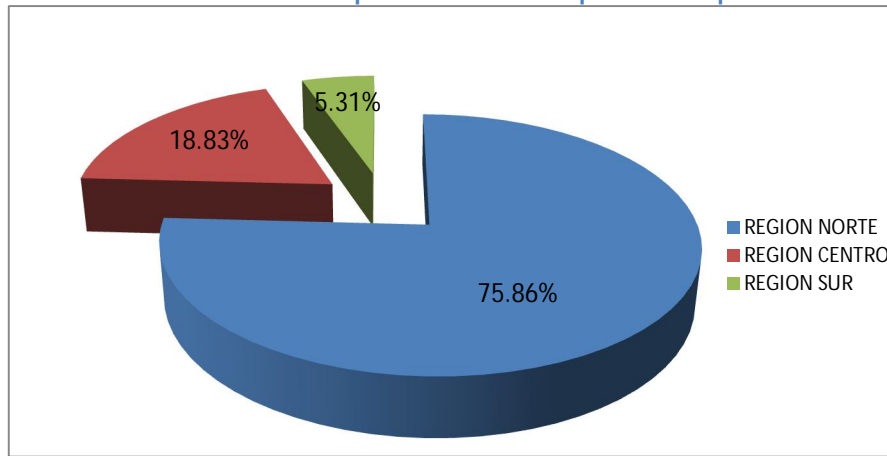
Fuente: Datos empresa objeto del estudio.

Tabla 8 Cantidades demandadas por cada distrito para los meses de junio a diciembre 2012

DISTRITO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
BARRANQUILLA	15,636	23,690	23,275	23,547	24,185	23,408	24,392
CARTAGENA	9,295	9,084	9,504	9,424	9,694	9,386	9,706
MONTERIA	16,307	16,188	17,390	17,286	18,071	17,053	18,224
CARTAGENA ESPECIAL	1,800	-	1,700	-	1,000	1,700	1,000
VALLEDUPAR	14,000	13,832	15,161	14,968	15,285	14,760	15,320
BUCARAMANGA	2,937	2,938	3,084	3,210	3,285	3,197	3,540
CUCUTA	714	768	797	791	883	858	889
MEDELLIN	5,743	5,771	5,800	5,780	6,039	5,861	6,432
MEDELLIN NORTE	9,090	9,357	9,414	9,505	9,713	9,453	10,426
BOGOTA SUR	1,580	1,646	1,717	1,685	1,681	1,588	1,642
DISTRITO NARIÑO	5,492	3,822	4,938	4,999	5,029	4,691	4,863
Total general	82,596	87,097	92,780	91,194	94,865	91,955	96,433

Fuente: Datos empresa objeto del estudio

Ilustración 13 Participación de la demanda por zonas del país



Fuente: Datos empresa objeto del estudio

De acuerdo al análisis de datos de la operación actual de la compañía, se puede concluir que la demanda de esta línea de pasabocas está concentrada en un 75.86% en la región Caribe y nororiental del país para los distritos de Barranquilla, Cartagena, Montería, Cartagenaespecial, Valledupar, Bucaramanga y Cúcuta.

7.3.2 Costos de distribución

El sistema de distribución se realiza desde los centros de distribución de ambas plantas, desde la planta de Antioquia se despachan en tres tipos de vehículos (sencillo, Contenedor y Mula) y desde el Cauca se realiza solo en camiones sencillos. Esto se da por la disponibilidad de vehículos desde cada una de las regiones a los puertos marítimos del país. Este tipo de productos tienen una relación Peso/Volumen muy baja, los contratos de transporte se manejan por trayecto y no por la carga en peso. Por política de la compañía el camión debe ser despachado con una ocupación superior al 98%, esto con el fin de optimizar costos.

Los productos expandidos tienen la característica de tener un bajo volumen y por lo tanto tiene gran incidencia en los costos de distribución.

El valor del flete por paca y destino se detalla a continuación, las cuales son las tarifas establecidas y previamente negociadas con las transportadoras.

Tabla 9 Costos de Distribución

DESTINO	TIPO DE VEHICULO	CDANTIOQUIA1	CDANTIOQUIA2	CDCAUCA
		Costo x Caja		
MONTERIA	SENCILLO	1,775	2,075	2,667
BARRANQUILLA	SENCILLO	1,967	2,267	3,000
BUCARAMANGA	SENCILLO	2,567	2,867	2,833
BOGOTA	SENCILLO	1,833	2,133	1,750
DISTRITO NARIÑO	SENCILLO	2,333	2,633	1,417
CARTAGENA	CONTAINER	1,085	1,385	1,800
CARTAGENA ESPECIAL	CONTAINER	1,085	1,385	1,800
VALLEDUPAR	SENCILLO	1,967	2,267	3,083
MEDELLIN	SENCILLO	300	0	1,750
CUCUTA	SENCILLO	2,567	2,867	2,833
MEDELLIN NORTE	SENCILLO	300	600	1,750

Fuente. Empresa objeto del estudio.

7.4 COSTOS RELEVANTES TOTALES

La formula establecida para determinar los costos totales relevantes para este caso aplicado fue:

$$CTR = Z \times CPN + XY \times CPN + XZ \times CPN + Z \times CFI + XY \times CF + XZ \times CFE + Y \times CINV$$

Donde

Z = Unidades despachadas desde la planta a los cendis

XY = Unidades despachadas desde la planta i a los distritos

XZ = Unidades despachadas desde el cendis a los distritos

$Y = \text{Unidades en inventario en el cendis}$

$CPN = \text{Costo de producción}$

$CINV = \text{Costo de inventario}$

$CFE = \text{Costo de flete externo}$

$CFI = \text{Costo de flete interno}$

$CF = \text{Costo de flete de plantas a distritos.}$

$\text{Costo Total de producción} = XY \times CPN + XZ \times CPN$

$\text{Costo Total de Distribución} = Z \times CFI + XY \times CF + XZ \times CFE$

$\text{Costo Total de Inventario} = Y \times CINV$

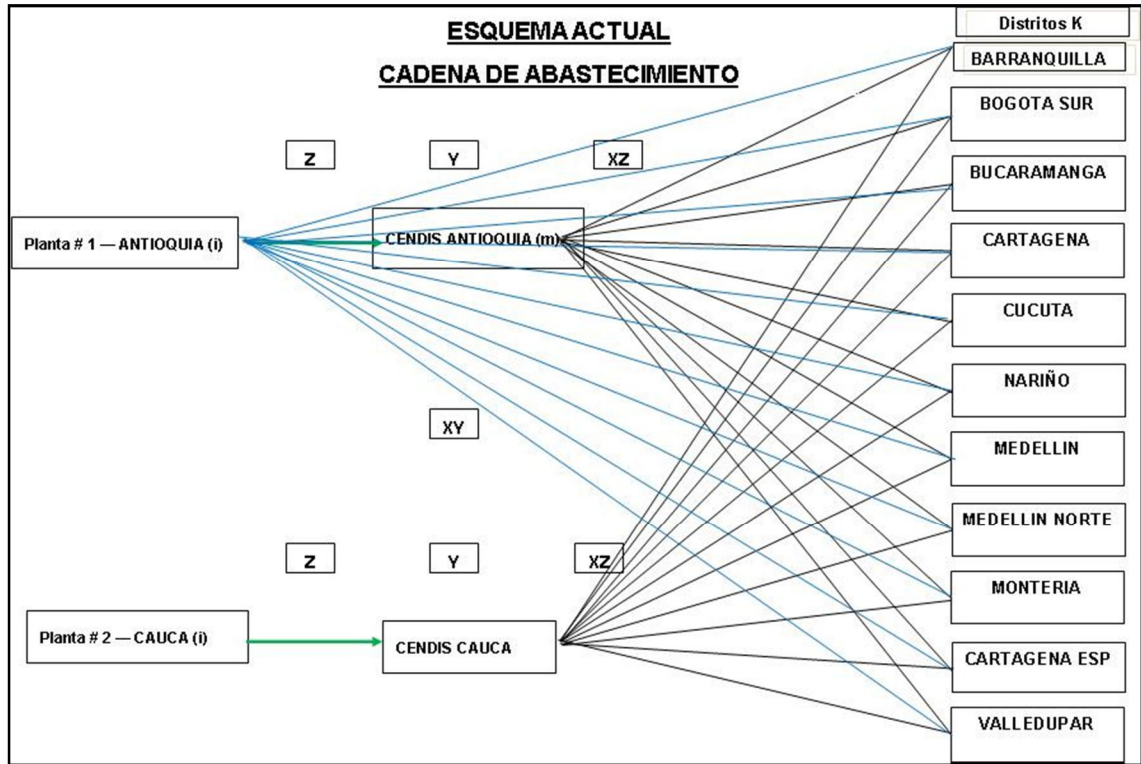
7.5 ESTRUCTURACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

Los datos usados en el escenario de análisis fueron recolectados teniendo en cuenta dos plantas de producción en dos regiones del país. Se revisó específicamente los tipos de proveedores por ubicación y el volumen anual, localización de bodegas y centros de distribución, costos de transporte y costos fijos en los almacenes.

7.5.1 Características del modelo

Esquemáticamente el modelo se puede representar como se muestra a continuación:

Ilustración 14 Esquema actual cadena de abastecimiento



Fuente: Datos empresa objeto del estudio.

Características y datos que configuran el problema (modelo):

Tabla 10 Características del Modelo

<p>Número de productos: $j=9$. Número de plantas de producción=2. Número de Distritos: $k=11$. Número de Meses: $l=7$. Número de Centros de Distribución $m=2$. Política de inventario: 2 días. Capacidad de las plantas de producción: Cauca 39.600 cajas/mes. Antioquia: 113.215 cajas/mes Tipo de camiones a utilizar: Camiones sencillos con capacidad para 600 cajas. Total variables: 3150. Total restricciones: 885. Función objetivo: 1.</p>

Fuente: Datos empresa objeto del estudio

Características generales del sistema que se modela:

- El modelo se diseña para un periodo de planeación de 7 meses.
- Se consideran varios productos.
- Como variable de decisión se consideran la cantidad de productos a fabricar en cada una de las plantas para ser distribuidos a cada uno de los distritos.
- Se incluyen restricciones de capacidad, inventario, demanda.
- La función objetivo incluye la suma de todos los costos asociados a la cadena.
- Los distritos pueden recibir productos de cualquiera de las dos cendis.
- No se modela los flujos de distribución desde las plantas a los consumidores finales.
- No se asume el posible flujo de productos entre las plantas.
- Se define un inventario final con el fin de garantizar el suministro de productos y evitar los agotados.
- Por tratarse de productos perecederos se tiene en cuenta la vida útil de los mismos.

7.5.2 Componentes del modelo matemático

Productos

Se consideran dentro del modelo un conjunto de productos terminados de la línea de ticos. Las unidades de flujo del producto se hacen en número de cajas, de esta manera se encuentran calculados los costos asociados a la producción y al transporte.

Plantas

Como se ha nombrado anteriormente la empresa objeto del estudio, cuenta con dos plantas de producción, ubicadas en caloto (valle del cauca) y Sabaneta (Antioquia).

Centros de Distribución

Los centros de distribución se encuentran en las mismas instalaciones donde se encuentran ubicadas las plantas.

Clientes o Distritos

Se cuentan con 11 distritos, los cuales son: Barranquilla, Bogotá Bucaramanga, Cali, Cartagena, Cúcuta, Medellín Norte, Medellín Sur, Montería, Nariño, Valledupar.

Transporte

EL transporte es terrestre, en el cual se utiliza camiones y contenedores.

7.5.3 Formulación del modelo

A continuación se formula el modelo matemático el cual representa el diseño de la cadena de abastecimiento del presente trabajo.

Se definen los conjuntos e índices, los parámetros y las variables de decisión para el presente modelo, considerando los costos de almacenamiento en los Cendis, los costos de producción en las plantas, y los fletes asociados a la distribución.

Conjuntos e índices

PLANTAS = Conjunto de plantas, indexado por i .

PRODUCTOS = Conjunto de productos, indexado por j .

DISTRITOS = Conjunto de distritos, indexado por k .

MESES = Conjunto de meses, indexado por l .

CENDIS = Conjunto de centros de distribución, indexado por m .

El índice de cada conjunto se define para mayor claridad, aunque en el modelo en sí se puede utilizar cualquier índice siempre y cuando haya consistencia. De todas formas, se sugiere conservar los índices como fueron definidos.

Parámetros

CAP_i = Capacidad de producción de cada planta i .

CPN_{ij} = Costo de producir cada producto j en cada planta de producción i .

DEM_{jkl} = Demanda de cada producto j en cada distrito k en el mes l .

$CINV_{jm}$ =

Costo de mantener inventario de cada producto j en los centros de distribución m .

$CAPCEN_m$ = Capacidad máxima de inventario en cada centro de distribución m .

CFI_{im} = Costo de flete desde la planta i al centro de distribución m .

CF_{ik} = Costo de flete desde cada planta i a cada distrito k .

CFE_{mk} = Costo de flete desde cada centro de distribución m al distrito k .

$INVCEROC_{jm}$ = Inventario inicial de cada producto j en el centro de Distribución m .

$INVFINAL_j$ = Inventario final de cada producto j en el mes final (Diciembre).

Los parámetros están definidos para los elementos de un conjunto definido previamente. Encontramos parámetros unidimensionales, como la capacidad de cada planta, ya que a cada elemento del conjunto de plantas le asignamos una capacidad. También se observan parámetros bidimensionales. Por ejemplo, los fletes entre cada centro de distribución y los distritos, y parámetros multidimensionales con tres elementos, como el parámetro demanda de productos de cada uno de los distritos en los respectivos meses, es muy importante que los parámetros tengan sus respectivas unidades de medida.

Variables de decisión

Y_{jml} = unidades de producto j almacenados en el centro de distribución m en el mes l.

Z_{jiml} = Unidades despachadas del producto J al Cendis m, desde la planta i en el mes l.

XY_{jlik} = Unidades despachadas del producto j desde la planta i en el mes l para el distrito k.

XZ_{jmlk}
= Unidades despachadas del producto j desde los centros de distribución m en el mes l a los distritos k.

Las variables de decisión representan las variables controlables, las cuales pueden ser manejadas por la empresa, y son aquellas que resuelven el problema en forma directa o indirecta, en el modelo formulado, la empresa puede decidir cuántas unidades producir y despachar en cada una de las plantas, igualmente cómo va a ser la distribución de los flujos desde los Cendis a cada uno de los distritos. El modelo se encarga entonces de hallar los valores de estas variables que produzcan el costo total de producción, almacenamiento y distribución mínimos.

7.5.4 Formulación verbal del modelo

Para una mayor comprensión se escribe el modelo matemático en forma verbal y luego se presenta en forma matemática. El modelo matemático en forma verbal es una forma muy útil de expresar el problema de optimización (Vidal, 2009), ya que condensa los costos y otros elementos que se van a considerar en la función objetivo y describe las diferentes restricciones que se tendrán en cuenta. La formulación verbal del modelo matemático es la siguiente:

Función Objetivo:

Minimizar: Costo total de producción + costo de inventario + costos de distribución

Costo total de producción = # De cajas producidas x costo unitario de producción.

Costo de inventario = # De cajas almacenadas por el costo unitario de almacen.

Costos de distribución = # De cajas despachadas x Valor flete por caja.

Restricciones:

Se definieron las siguientes restricciones:

- Capacidad de planta.
- Satisfacción de la Demanda de cada distrito (Días de cobertura)
- Inventario Máximo.
- Inventario final.
- Restricciones de balance.
- Despachos.

7.5.5 Modelo Matemático en notación algebraica

A continuación se presenta la función objetivo y las restricciones en notación algebraica.

Función Objetivo

Minimizar Costo total de producción + costo de inventario + costos de distribución=

$$\sum_{ijkl} XY_{ijkl} \times CPN_{ij} + \sum_{jml} Y_{jml} \times CINV_{jm} +$$

$$\sum_{jlmk} Z_{jiml} \times CFI_{im} + \sum_{jilk} XY_{ijlk} \times CF_{ik} +$$

$$\sum_{jlmki} XZ_{jlmik} \times CFE_{mk} + \sum_{jlmki} XZ_{jlmik} \times CPN_{jl}$$

La función objetivo mostrada es la suma de los costos de producción en cada planta (primera sumatoria), de los costos de inventario (segunda sumatoria), de los fletes de transporte de las plantas a los cendis (tercera sumatoria), los fletes de los plantas a los distritos (cuarta sumatoria), de los fletes de transporte de las cendis a los distritos (quinta sumatoria), los costos de producción de las unidades producidas y despachadas (sexta sumatoria).

Restricciones.

Se definieron las siguientes restricciones:

Restricción de Capacidad de producción

La sumatoria de los envíos de los productos j de cada planta i a los cendis m, más los productos j enviados desde las plantas i a los distritos k debe ser menor o igual a la capacidad de cada planta i.

$$\sum_m Z_{imlj} + \sum_i XY_{iklj} \leq CAP_i \forall i$$

Satisfacción de la Demanda de cada distrito

Todos los despachos deben ser mayores o iguales a la demanda de cada distrito.

Esta restricción representa que las unidades despachadas de cada producto j de cada centro de distribución m, para cada distrito k en el mes l, mas las unidades enviadas de cada producto j desde la planta i al distrito k en cada mes l deben ser mayores o igual a la demanda de cada distrito k en el mes l de cada producto j.

$$\sum_m XZ_{jlmk} + \sum_i XY_{jlik} \geq DEM_{jkl} \forall jkl.$$

Inventario Máximo

Inventario total de los productos debe ser menor a la capacidad máxima de cada centro de distribución.

El inventario total de todas las unidades de producto terminado j almacenado en cada centro de distribución debe ser menor o igual a la capacidad máxima de inventario de cada centro de distribución m.

$$\sum_j Y_{jml} \leq CAPCEN_m \forall m$$

Inventario final

El inventario de cada producto en los cendis debe ser mayor o igual al inventario final determinado.

$$\sum_m Y_{jlm} \geq INVFINAL_j \forall j$$

Balance de productos en centros de distribución

$$INVCERO + \sum_i Z_{jiml} - \sum_k XZ_{jlmk} - Y_{jml} \cdot 1 = 0;$$

$$INV_{jml-1} + \sum_i Z_{jiml} \cdot 1 - \sum_k XZ_{jmk} \cdot 1 - Y_{jml} \cdot 1 = 0;$$

Estas restricciones. Indican que el flujo que llega a cada bodega desde todas las plantas, debe ser igual al flujo que sale de la misma hacia todos los clientes o distritos.

Despacho desde Cendis

Esta representa que todo lo que se despacha del Cendis m a todos los distritos K, debe ser como mínimo lo que había al final del mes (l-1).

Al final del mes no puede haber producto almacenado en los cendis que tengan más de un mes de fabricados.

$$\sum_k XZ_{jmk} \geq Y_{jml} \quad \forall j, m, l$$

Despacho de plantas

El Número mínimo de cajas a despachar de las plantas a los distritos es de 600.

$$\sum_{ji} XY_{jkl} \geq \text{DESPACHOS} \quad \forall j, i;$$

DESPACHOS = 600cajas.

7.5.6 Archivo del modelo en AMPL

El paso a seguir es la escritura del archivo del modelo en AMPL, el cual se muestra en el anexo 1.

7.5.7 El archivo de datos en AMPL

Una vez formulado el modelo, se procede a construir el archivo de datos en el cual primero se definen los conjuntos en su orden, dando el nombre de cada uno de los elementos de cada conjunto. De igual manera se dan los valores de cada parámetro, de acuerdo con los nombres de los elementos que se hayan definido para cada conjunto. Por ejemplo, la capacidad de cada planta está definida en el parámetro *cap*, así, el sistema reconoce al elemento *cap* definido anteriormente en el conjunto de plantas: `param cap.`

Para los parámetros bidimensionales, por ejemplo los fletes, AMPL da la opción de presentarlos en forma de tabla como se muestra en el archivo de datos, para una mejor organización y facilidad de lectura.

7.5.8 El archivo de comandos y el archivo de resultados en AMPL

El archivo de comandos en AMPL se utiliza para informar al sistema la forma como deseamos que se presenten los resultados y cuáles de éstos queremos tener en la salida.

Para este trabajo, el archivo de comandos de AMPL es el siguiente:

[Tabla 11 Archivo de comandos](#)

```

option show_stats 1;
option solution_precision 0;
option omit_zero_rows 1;
option omit_zero_cols 1;
option display_precision 6;
option display_round 0;
option display_width 100;

solve;

printf "\n\n*****\n\n";
printf "PLANEACION DE LA PRODUCCION Y DISTRIBUCION \n\n";
printf "*****\n\n";
printf "\n\n*****\n\n";
printf "AUTOR: JOSE RUBEN TABARES PINEDA\JONH JAIRO GAMBOA OCAMPO.n";
printf "*****\n\n";
printf "\n\nDESPACHOS DESDE PLANTAS A CENDIS =\n\n";
display Z;
printf "\n\nDESPACHOS DESDE PLANTAS A DISTRITOS =\n\n";
display XY;
printf "\n\nDESPACHOS DESDE CENDIS A DISTRITOS =\n\n";
display XZ;
printf "\n\nINVENTARIO EN CENDIS =\n\n";
display Y;

```

Fuente: Datos empresa objeto del estudio.

7.5.9 Solución del modelo

Como el modelo es de gran tamaño, contempla un número elevado de variables y restricciones, el cual es el caso de modelos reales, se debe utilizar un software especializado para la generación y solución del mismo.

El proceso de generación del modelo consistió en que al software generador se le suministró la estructura matemática del modelo de acuerdo con su propia sintaxis, y el generador combina los archivos del modelo y de datos para producir un archivo ejecutable por el solucionador correspondiente. Cuando éste resuelve el problema, el generador interpreta la solución y devuelve el resultado de acuerdo con los nombre de las variables, función objetivo y restricciones originales que se le hayan definido. (Vidal, 2009).

Después de formular el modelo matemático de la situación real y escribirlo en forma simbólica matemática, se tradujo el modelo archivo de acuerdo con la

sintaxis específica del generador de modelos utilizado. En este caso se empleo el generador AMPL (*A Modeling Language for Mathematical Programming*, página web www.ampl.com), éste es un generador muy amigable y con un poderoso manejo de conjuntos, lo cual es muy importante para modelar y resolver problemas reales⁵.

El modelo en AMPL se corrió a través de un servidor totalmente gratis y legal en Internet, abierto a todo el público a nivel mundial, este servidor fue NEOS Server, el cual puede ser accesado en la página web <http://www-neos.mcs.anl.gov/>. En el *NEOS Server* se pueden correr diversos tipos de modelos, entre los que se cuentan modelos de programación lineal continua, modelos de programación lineal entera-mixta, modelos de optimización global, modelos combinatorios y enteros, modelos no-lineales, algunos modelos estocásticos y otros modelos especializados. El servidor se puede utilizar con varios generadores de modelos, para nuestro proyecto se utilizó AMPL con el solucionador GUROBI.

7.5.10 Corrida del modelo NEOS Server.

El modelo fue corrido en Internet en el *NEOS Server* mediante el solucionador Gurobi, con entrada de AMPL, mediante el siguiente procedimiento:

Los archivos de modelo y datos son los mismos que los mostrados anteriormente. Sólo cambia el archivo de comandos en el sentido que se mencionó arriba y también en el hecho de que no se imprime hacia un archivo de salida, ya que la impresión sale directamente por Internet y como se da el correo electrónico llega a éste automáticamente una vez el sistema logre encontrar la solución.

Se ingresa a la página web <http://neos.mcs.anl.gov/neos/solvers> y se escoge el solucionador y el generador de modelos a utilizar de acuerdo con el tipo de modelo a resolver. En este caso se escogió GURIBI conjunto de solucionadores de programación lineal entera con restricciones lineales.

Posteriormente se ingresan los archivo del modelo, datos y archivo de resultados se da la opción de: submit to Neos, el software da la respuesta en cuestión de segundos.

⁵ Ibid.p. 494

Con la información recolectada se procedió a plantear un modelo de planeación - distribución que permitiera simular la operación actual de la empresa.

8 RESULTADOS Y ANÁLISIS

8.1 VALIDACIÓN DEL MODELO

La validación es el proceso de comprobar que los resultados aportados por el modelo para las variables de salida y parámetros no son muy diferentes a los medidos en la realidad.

Existen diferentes índices que permiten cuantificar el grado de ajuste entre los datos medidos y los resultados del modelo. Si el modelo se ha construido adecuadamente se puede hacer un análisis de sensibilidad que permita determinar que parámetros merece la pena medir con mayor precisión y mayor resolución espacial. En este caso mediremos la variabilidad de los datos reales establecidos por la compañía comparada contra los datos de cajas distribuidas corridas en el modelo propuesto. El siguiente cuadro resume los resultados obtenidos de acuerdo a la distribución real para los meses de enero – abril y los datos obtenidos cuando estos datos reales se ingresaron al modelo.

Tabla 12 Distribución Real vs Modelo

DISTRIBUCION REAL	MES	CAJAS DISTRIBUIDAS	COSTO PDN	FLETES REAL	COSTO INVENTARIO
	ENE	129,761	1,225,653,572	184,219,800	101,566,962
	FEB	140,547	1,345,035,760	216,642,344	110,803,495
	MAR	101,673	918,617,957	144,463,173	77,811,789
	ABR	92,241	886,119,145	127,305,595	75,297,374
	TOTAL	464,222	\$ 4,375,426,434	\$ 672,630,912	\$ 365,479,619
		81%	12%	7%	
VALIDACION EN MODELO MATEMATICO	MES	CAJAS DISTRIBUIDAS	COSTO PDN	FLETES ESTIMADOS	COSTO INVENTARIO
	ENE – ABR	468,586	\$ 4,357,015,890	\$ 669,800,673	\$ 363,941,785
DIFERENCIAS		\$ (4,364)	\$ 18,410,544	\$ 2,830,239	\$ 1,537,834

Fuente: Datos empresa objeto del estudio

El ejercicio de validación consistió en tomar los datos reales de unidades despachadas en el periodo enero – abril del presente año e incluirlas en el en el modelo en AMPL. Los valores reales fueron suministrados por la compañía.

Los resultados muestran que se presentan diferencias no significativas con respecto al modelo real. En el caso de la cantidad de cajas distribuidas se presenta una diferencia de 4.364 cajas que representan una variación del 0.94% con respecto a la cantidad despachada durante los meses establecidos. Para el caso de los costos se presentan variaciones muy bajas, el coeficiente de variación es de 0.66% lo que nos indica que el modelo presenta una confiabilidad superior al 99%.

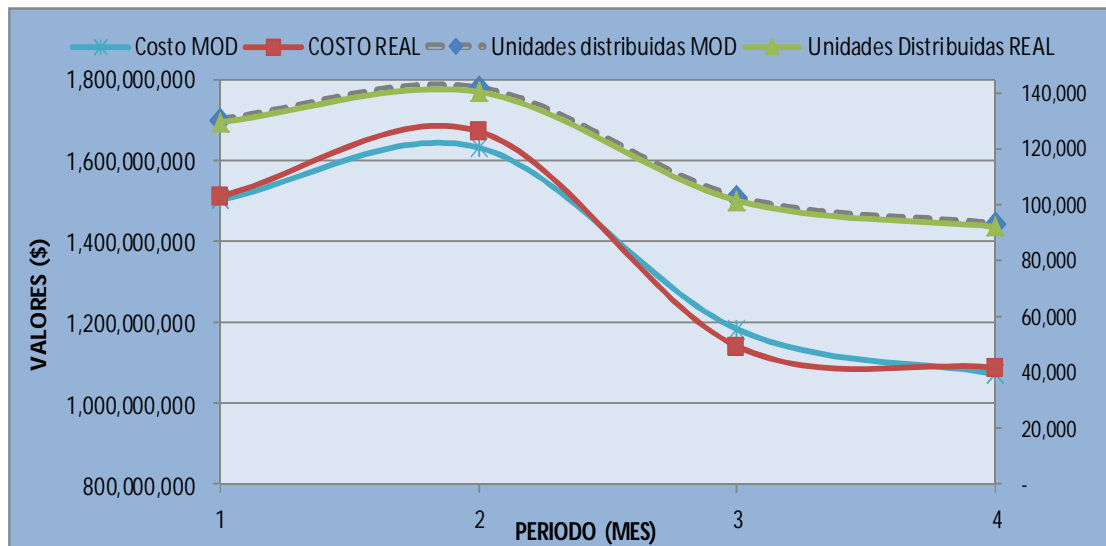
Tabla 13 Costos distribución real vs Modelo

DISTRIBUCION REAL	MES	TOTAL CTR	COSTO / CAJA	COSTO PROD/CAJA
	ENE	1,511,440,334	11,648	9,445
	FEB	1,672,481,598	11,900	9,570
	MAR	1,140,892,919	11,221	9,035
	ABR	1,088,722,114	11,803	9,607
	TOTAL	\$5,413,536,965	\$ 11,662	\$ 9,425
VALIDACION EN MODELO MATEMATICO	MES	TOTAL CTR	COSTO / CAJA	COSTO PROD/CAJA
	ENE – ABR	\$ 5,390,758,348	\$ 11,504	\$ 9,298
DIFERENCIAS		\$ 22,778,617	\$ 157	\$ 127

Fuente: Datos empresa objeto del estudio

La diferencia en el CTR medido para estos cuatro meses es de \$ 22,778,617 lo cual se explica por la optimización que hace el modelo a nivel de despachos.

Ilustración 15 Validación del modelo



Fuente: Datos empresa objeto del estudio

Tabla 14 Coeficiente de Variación

Meses	Modelo	Real	S	\bar{X}	CV
Enero	129761	130630	614.475793	130194.775	0.47%
Febrero	140547	141875	939.037805	141209.439	0.66%
Marzo	101673	102855	835.800215	102262.292	0.82%
Abril	92241	93226	696.500179	92732.1922	0.75%
Total	464222	468586	3085.81399	466398.896	0.66%

Fuente: Datos empresa objeto del estudio

De acuerdo al coeficiente de variación se determinado para cada mes se puede observar que los datos son muy homogéneos. Las variables resultantes del modelo se tabulan a continuación:

Tabla 15 Variables resultantes del modelo

	VARIABLE	UNIDADES ENE - ABR	PROMEDIO MES
Z	[* ,ANTIOQUIA,CDANTIOQUIA2,*]	14,394	3,599
	[* ,CAUCA,CDCAUCA2,*]	45,072	11,268
		59,466	14,867
XY	[* ,ANTIOQUIA,* ,1]	113,217	113,217
	[* ,ANTIOQUIA,* ,2]	113,216	113,216
	[* ,ANTIOQUIA,* ,3]	95,657	95,657
	[* ,ANTIOQUIA,* ,4]	86,029	86,029
		408,119	102,030
XZ	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,1]	3,882	3,882
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,2]	2,144	2,144
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,3]	4,185	4,185
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,4]	5,691	5,691
	[* ,CDCAUCA2,* ,1]	13,531	13,531
	[* ,CDCAUCA2,* ,2]	26,515	26,515
	[* ,CDCAUCA2,* ,3]	3,013	3,013
	[* ,CDCAUCA2,* ,4]	1,506	1,506
		60,467	15,117
Y	[* ,CDANTIOQUIA2,*]	14,363	3,591
	[* ,CDCAUCA2,*]	23,279	5,820
		37,642	9,411

Fuente: Datos empresa objeto del estudio

Otro punto importante para la validación del modelo es comprobar que todas las restricciones se cumplen a cabalidad. A continuación se valida cada una de ellas:

8.1.1 Capacidad de Producción

La capacidad de producción esta determinada por el número de cajas despachadas desde las plantas a los centros de distribución (Z) y desde las plantas a los distritos (XY). Estas cantidades están sujetas a la capacidad actual de cada planta, por lo tanto la suma de las cantidades despachadas a los centros de distribución y a los distritos no deben superar esta capacidad.

$$\sum_m Z_{imlj} + \sum_i XY_{iklj} \leq CAP_{cauca} = 39.600$$

$$11.268 + 0 = 11.268 \leq CAP_{cauca}$$

$$\sum_m Z_{imlj} + \sum_i XY_{iklj} \leq CAP_{antioquia} = 113.215$$

$$3.599 + 102.030 = 105.628 \leq CAP_{antioquia}$$

Los resultados muestran que se cumple la restricción de capacidad.

8.1.2 Inventarios

Para los inventarios tenemos dos restricciones asociadas. La primera establecida para no almacenar más de la capacidad actual de los centros de distribución y la segunda determinada por el mínimo número de unidades según la política de inventario.

$$\sum_j Y_{jml} \leq CAPCEN_m \quad \forall m$$

$$\sum_j Y_{jml} \leq CAPCEN_{cauca} = 10.000 \text{ und}$$

$$5.820 \leq CAPCEN_{cauca}$$

$$\sum_j Y_{jml} \leq CAPCEN_{antioquia} = 8.000 \text{ und}$$

$$3.591 \leq CAPCEN_{antioquia}$$

$$\sum_m Y_{jlm} \geq INVFINAL_j \quad \forall j$$

Tabla 16 Resultados de inventario

param:	INVFINAL :=
127	567
150	345
128	671
152	929
100154	2812
100138	400
100153	486
100137	987;

Fuente: Los autores

$$\sum_m Y_{jlm} \geq 7.197 \text{ und} \quad \forall j$$

$$9.411 \geq 7.197 \text{ und}$$

Se cumple con las restricciones de inventarios

8.1.3 Demanda

La demanda de los distritos debe ser suplida por las unidades despachadas desde las plantas (XY) y desde los centros de distribución (XZ).

$$\sum_m XZ_{jlmk} + \sum_i XY_{jlik} \geq DEM_{jkl} \forall jkl.$$

La demanda promedio durante los meses de Enero – Abril fue de 116.056 cajas

$$15.117 + 102.030 = 117.147 \geq DEM_{jkl}$$

Cumple con la restricción de demanda.

8.2 ANALISIS DE RESULTADOS

Dentro del análisis de resultados cobra mucha importancia revisar cuales son los posibles cambios a los cuales la empresa deberá apelar para optimizar la Supply Chain. En primera instancia se revisa el comportamiento de la distribución real en los meses finalizados del año en curso (enero – abril) y se evaluaron las variables de producción y distribución actuales cuyos valores reales se muestran a continuación:

Tabla 17 Distribución real de productos para los meses de enero a abril

Código	planta	Ene	Feb	Mar	Abr
000152	Cauca	3,278	9,650	1	
100137	Cauca	2,144	2,986		
100154	Cauca	6,270	15,120	2,360	9,474
Total	Cauca	11,692	27,756	2,361	9,474
000127	Antioquia	11,964	12,095	7,075	7,354
000128	Antioquia	17,463	19,434	9,038	10,216
000150	Antioquia	8,494	6,855	8,755	2,666
100137	Antioquia	9,939	25,414	26,111	14,026
100138	Antioquia	8,136	5,308	4,051	4,922
100153	Antioquia	17,768	8,047	3,240	9,745
100154	Antioquia	32,801	26,055	18,597	17,004
000152	Antioquia	11,504	9,579	22,445	16,834
260137	Antioquia		4		
Total	Antioquia	118,069	112,791	99,312	82,767
Total Cajas		129,761	140,547	101,673	92,241
Total	Cauca	9.01%	19.75%	2.32%	10.27%
Total	Antioquia	90.99%	80.25%	97.68%	89.73%
Total general		100%	100%	100%	100%

Fuente: Datos empresa objeto del estudio.

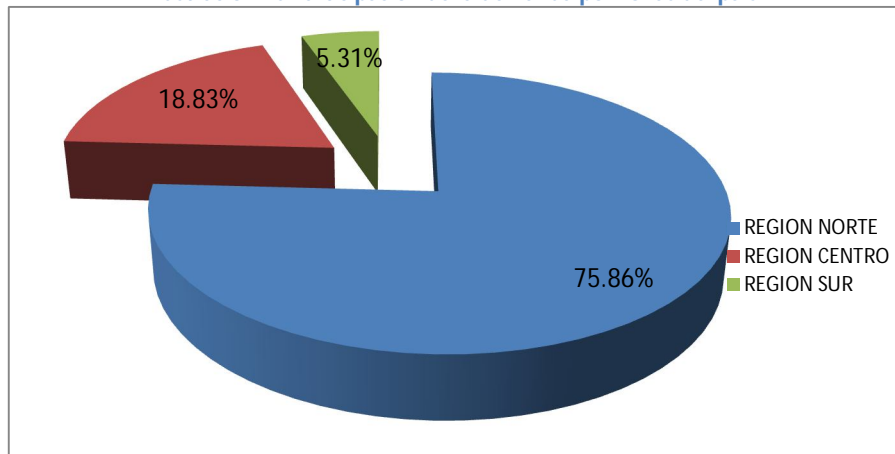
El comportamiento de la producción muestra que la planta de Cauca tuvo una participación del 11% y la de Antioquia fue del 89%. La demanda de este tipo de productos se concentra principalmente en la región norte de Colombia, esto nos da un indicio del porque puede ser más rentable concentrar la producción desde la planta de Antioquia

Tabla 18 Cantidades despachadas hacia los distritos para los meses de junio a diciembre según pronóstico de la demanda

DISTRITO	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
BARRANQUILLA	15,636	23,690	23,275	23,547	24,185	23,408	24,392
CARTAGENA	9,295	9,084	9,504	9,424	9,694	9,386	9,706
MONTERIA	16,307	16,188	17,390	17,286	18,071	17,053	18,224
CARTAGENA ESPECIAL	1,800	-	1,700	-	1,000	1,700	1,000
VALLEDUPAR	14,000	13,832	15,161	14,968	15,285	14,760	15,320
BUCARAMANGA	2,937	2,938	3,084	3,210	3,285	3,197	3,540
CUCUTA	714	768	797	791	883	858	889
MEDELLIN	5,743	5,771	5,800	5,780	6,039	5,861	6,432
MEDELLIN NORTE	9,090	9,357	9,414	9,505	9,713	9,453	10,426
BOGOTA SUR	1,580	1,646	1,717	1,685	1,681	1,588	1,642
DISTRITO NARIÑO	5,492	3,822	4,938	4,999	5,029	4,691	4,863
Total general	82,596	87,097	92,780	91,194	94,865	91,955	96,433

Fuente: Datos empresa objeto del estudio

Ilustración 16 Participación de la demanda por zonas del país



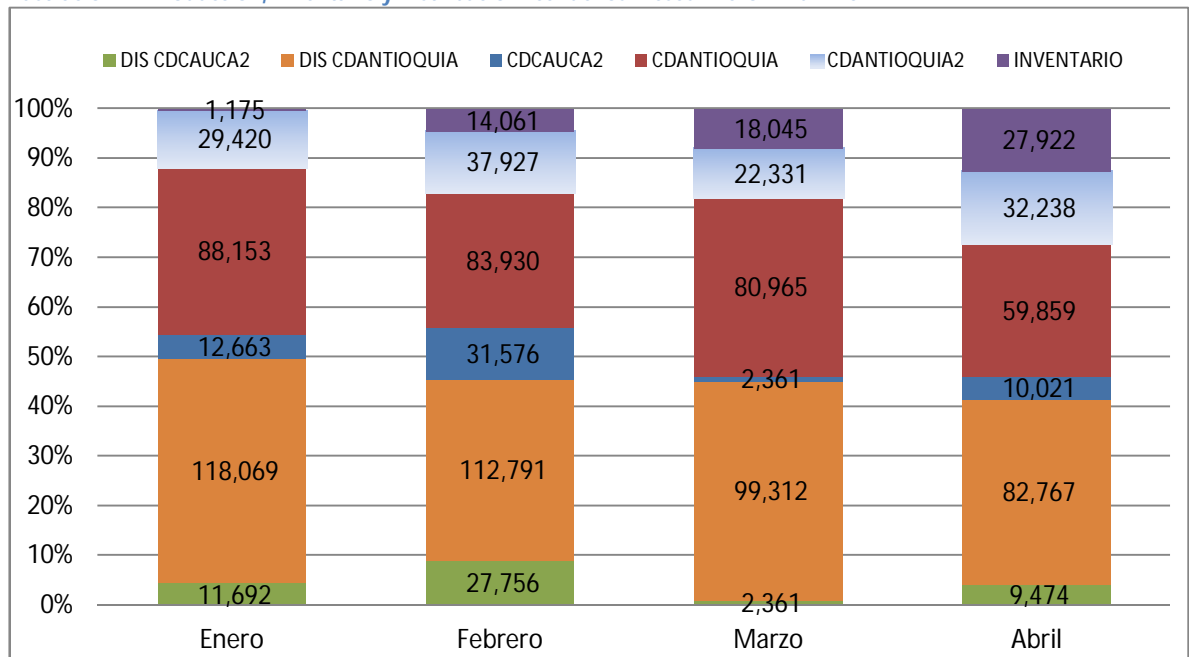
Fuente: Datos empresa objeto del estudio

Con el pronóstico actual de los meses de junio a diciembre el cual es en promedio de 91.274 cajas, la capacidad de la planta de Antioquia alcanzaría a satisfacer la demanda. El mes de mayor demanda es diciembre con 97.433 cajas haciendo posible la producción desde dicha planta cuya capacidad actual es de 113.215 cajas. Debemos tener en cuenta que operar una planta a una capacidad superior

al 90% es un riesgo y que cualquier eventualidad ocasionaría que parte de los productos tengan que ser fabricados desde la planta Cauca conllevando a un incremento en el costo. La operación actual muestra que es posible operar la planta a plena capacidad pero se deben sacrificar factores como: tiempos de Mantenimiento Preventivo, descanso de los trabajadores entre otros

Los resultados del modelo de planeación y distribución (ver anexo III) demuestran el comentario anterior.

Ilustración 17 Producción, Inventario y Distribución real de los meses Enero – Abril 2012



Fuente: Datos empresa objeto de estudio.

La tabla 18 muestra el comportamiento de la planeación y distribución inmersas en la Supply Chain de la compañía en estudio actualmente. Durante estos meses la producción ha sobrepasado la demanda pronosticada teniendo picos de 140.547 unidades para el mes de febrero. La producción ha estado enfocada principalmente en la planta de Antioquia favoreciendo los costos de producción y distribución. El mes de febrero la planta de Cauca fabricó 27.756 cajas con el fin de no presentar agotados en los distritos. El hecho de que la planta de Antioquia haya trabajado a full capacidad y que la distribución se haya realizado directamente desde la planta explica la aproximación que tuvo el modelo con respecto a los datos reales.

Los inventarios presentan una tendencia creciente en los cendis y la distribución ha bajado a razón de que la demanda se viene reduciendo. Una de las razones de esto es que la compañía ha tomado la decisión de mantener cuotas cerradas para los distritos del país.

Para el forecast estimado en los meses de junio a diciembre los resultados obtenidos con el modelo fueron los siguientes ver tabla # 19.

Tabla 19 Resultados de validación del modelo de planeación distribución enero - abril

	VARIABLE	UNIDADES ENE – ABR	PROMEDIO MES
Z	[* ,ANTIOQUIA,CDANTIOQUIA2,*]	55,983	7,998
	[* ,CAUCA,CDCAUCA2,*]	438	63
		56,421	8,060
XY	[* ,ANTIOQUIA,* ,1]	75,398	75,398
	[* ,ANTIOQUIA,* ,2]	80,500	80,500
	[* ,ANTIOQUIA,* ,3]	89,586	89,586
	[* ,ANTIOQUIA,* ,4]	84,599	84,599
	[* ,ANTIOQUIA,* ,5]	87,670	87,670
	[* ,ANTIOQUIA,* ,6]	84,755	84,755
	[* ,ANTIOQUIA,* ,7]	89,232	89,232
		591,740	84,534
XZ	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,1]	7,097	7,097
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,2]	7,147	7,147
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,3]	7,172	7,172
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,4]	7,185	7,185
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,5]	7,078	7,078
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,6]	7,138	7,138
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,7]	7,061	7,061
	[* ,CDCAUCA2,* ,1]	100	100
	[* ,CDCAUCA2,* ,2]	50	50
	[* ,CDCAUCA2,* ,3]	25	25
	[* ,CDCAUCA2,* ,4]	12	12
	[* ,CDCAUCA2,* ,5]	119	119
	[* ,CDCAUCA2,* ,6]	60	60
	[* ,CDCAUCA2,* ,7]	136	136
		50,380	7,197
Y	[* ,CDANTIOQUIA2,*]	49,877	7,125
	[* ,CDCAUCA2,*]	502	72
		69,547	9,935

Fuente: Datos empresa objeto del estudio

La función objetivo resultante arroja que el costo total relevante de la operación y distribución durante los siete meses en estudio es de:

$$\text{CTR (Jun – dic)} = \$ 7,601,578,720$$

Para manejar una operación óptima el modelo arroja los siguientes resultados:

Producción

- Debe ejecutarse en un 99% en la planta de Antioquia.

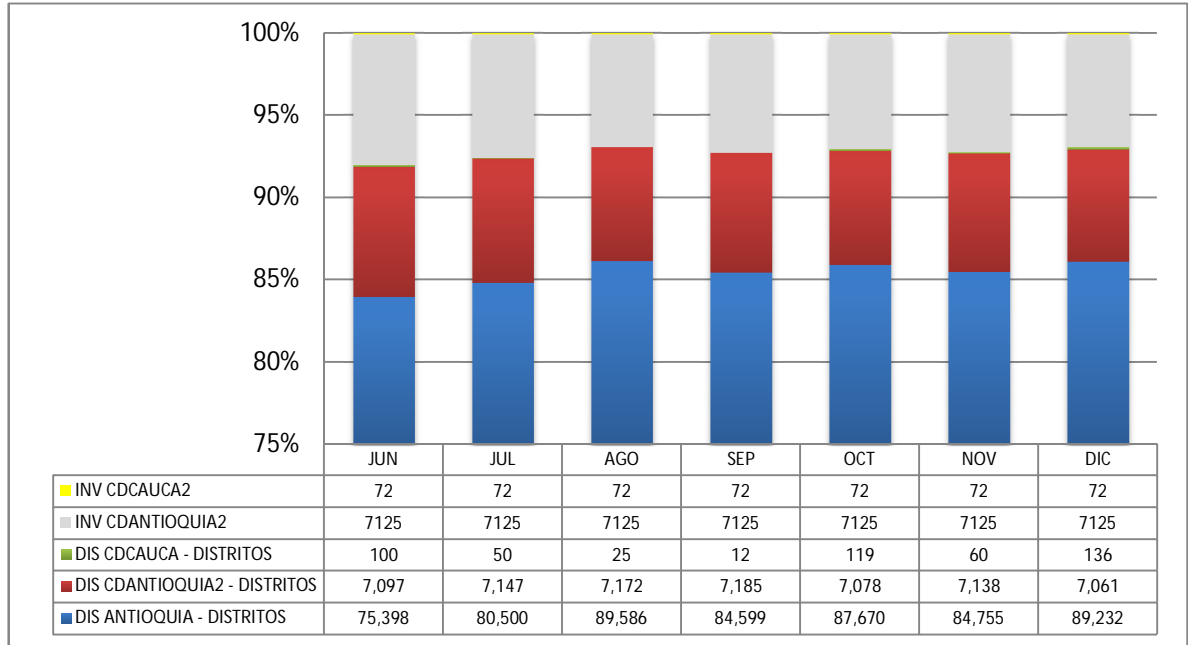
Distribución

- El 92% de los despachos se realizan directamente desde la planta de Antioquia a los distritos.
- El 8% de los despachos se realizan desde el Cendis de Antioquia.
- Menos del 1% se despacha desde Cendis Cauca

Inventarios

- El 99% de los inventarios se manejan desde el Cendis Antioquia.

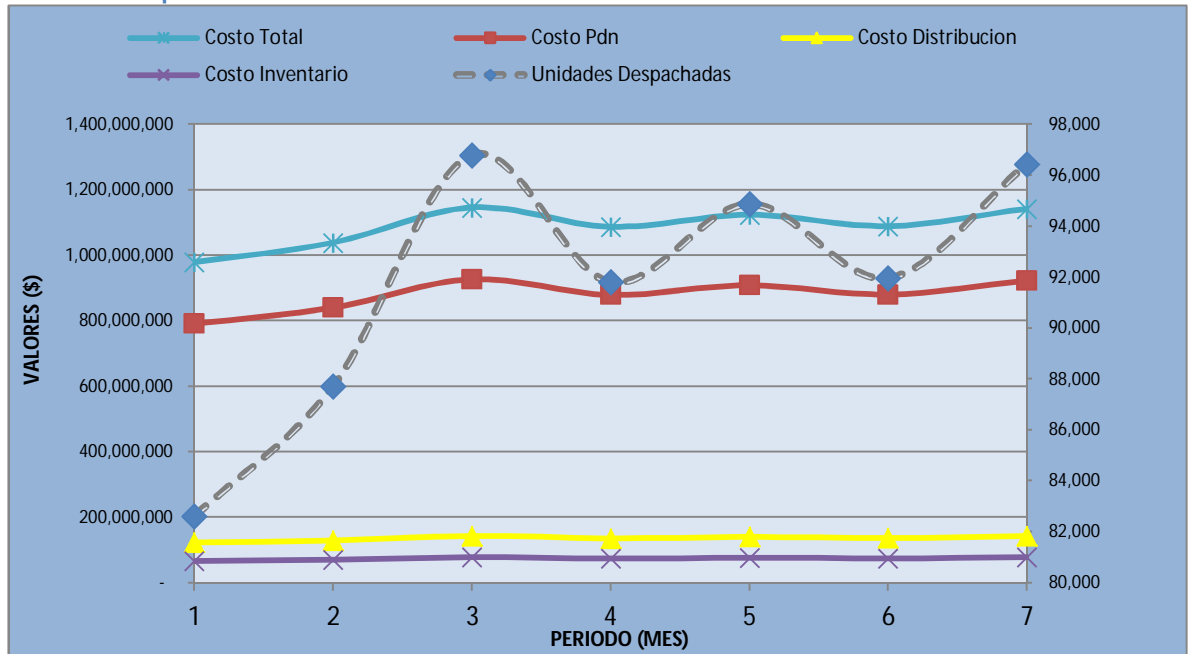
Ilustración 18 Resultados del modelo de planeación – distribución para el pronóstico de demanda Junio – Diciembre 2012



Fuente: Datos empresa objeto del estudio

Revisando estos datos contra los costos totales obtenemos la siguiente grafica:

Ilustración 19 Comportamiento de los costos totales relevantes y las cantidades despachadas para el pronóstico de demanda en el periodo Junio – Diciembre 2012



La demanda se satisface desde la planta de Antioquia, solo se fabrican 226 cajas del artículo 100154 en el mes 5 y 212 del 100153 en el mes 7 en la planta de Cauca. Con esto podemos concluir que es más rentable para la compañía fabricar sus productos desde la planta de Antioquia.

8.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad mide cuanto pueden llegar a afectar a los resultados de un modelo variaciones relativamente pequeñas en los valores de los parámetros. Tiene un gran número de utilidades:

- En primer lugar sirve para comprobar la lógica interna de un modelo, ayuda a entender como funciona el modelo o porque no funciona correctamente y aprender más acerca de su funcionamiento. En un modelo pequeño, con pocos parámetros puede resultar obvio a partir del estudio de sus ecuaciones que parámetros van a tener más influencia sobre los resultados del modelo; pero en un modelo complejo esto no será tan obvio y puede resultar imprescindible un análisis de sensibilidad.
- Para definir la importancia de cada parámetro lo que servirá para determinar el grado de esfuerzo que debe prestarse a su medición o muestreo.
- Medir como la incertidumbre en la determinación de un parámetro puede afectar a la certidumbre del parámetro.
- Detectar si el modelo está sobreparametrizado, esto ocurre cuando existen parámetros a los que el modelo resulta insensible, en este caso será necesario eliminar algunos para simplificar el modelo.

También puede hacerse un análisis de sensibilidad de las funciones, se trata de determinar como afectan distintas formulación de las ecuaciones utilizadas para modelar los procesos y relaciones del sistema a los resultados finales.

El análisis de sensibilidad suele hacerse ejecutando el modelo para diversos valores del parámetro cuya sensibilidad quiere calcularse dejando fijos todos los demás. Sin embargo la sensibilidad a un parámetro dependerá de los valores adoptados por los demás parámetros, con lo que puede ser más complejo hacer un análisis de sensibilidad. Otra consideración importante es que si el modelo es muy sensible a un parámetro pero este varía muy poco, dicha sensibilidad no va a ser relevante.

En algunos casos puede no ser realista hacer un análisis de sensibilidad ejecutando el modelo para todas las posibles combinaciones de todos los rangos de las variables de interés. En estos casos es preferible utilizar métodos de Montecarlo para hacer unas pocas pruebas con algunos de los posibles valores de las variables a comprobar.

De acuerdo al análisis previo y a los resultados y antecedentes del modelo matemático se realizó el análisis de sensibilidad el cual consistió en aumentar la capacidad de la planta de Antioquia durante los primeros meses del año y se realizó la comparación frente a los costos reales. De esta forma se muestra el impacto de focalizar la producción en una sola planta.

Los datos arrojados por el modelo muestran que la producción en la planta de Antioquia da como resultado una función objetivo menor, por lo tanto los costos relevantes totales se minimizan. Con el fin de evaluar el impacto de la producción en el costo se realizó el análisis que consistió en tomar los cuatro primeros meses del año, periodo en el cual la venta estuvo por encima del pronóstico estimado. Se obtuvo un pico de cajas distribuidas en febrero de 140.547. Esto hizo que las plantas estuvieran en una ocupación de más del 95%. Si evaluamos un eventual incremento en la capacidad de la planta de Antioquia y evaluamos el impacto en los costos se observa una reducción del 4.5% al aumentar en un 15% pasando de 113.215 cajas a 133.215 y de un 4.78% al aumentar en un 21%.

Tabla 20 Análisis de sensibilidad según Incremento de capacidad

Capacidad de Planta	Incremento en Capacidad	CTR	Diferencia	% Variación
113,215	-	\$ 5,390,758,348	-	-
133,215	15%	\$ 5,148,097,574	\$ (242,660,774)	4.50%
143,215	21%	\$ 5,132,955,887	\$ (257,802,461)	4.78%

Fuente: Datos empresa objeto del estudio

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la búsqueda de estrategias que permitan la optimización de las cadenas de abastecimiento, encontramos en este modelo matemático aplicado a la industria de consumo masivo de alimentos una herramienta que sin lugar a duda ayuda a agilizar la toma de decisiones en la organización y permite la gestión eficaz de la cadena de abastecimiento.

Se diseñó un modelo matemático de programación lineal, teniendo en cuenta las condiciones de operación actual de la compañía. Por medio de este se logró presentar una propuesta de minimizar los costos asociados en la cadena de abastecimiento, incluyendo la producción, almacenamiento y distribución. Este modelo incluye 3150 variables de decisión, y 885 restricciones, con una función objetivo la cual consiste en minimizar los costos totales.

Con respecto a la validación del modelo se determino mediante un coeficiente de variación de un 0.66% que el modelo propuesto se ajusta a la descripción de la operación actual de la cadena. Se realizó el respectivo análisis de las variables resultantes logrando concluir que el modelo cumple con las restricciones de capacidad, demanda, inventarios, balance de plantas, despachos y vida útil de producto. Convirtiéndose de esta forma en una herramienta rápida y económica para la toma de decisiones alrededor de la supply chain.

Se evidenció de acuerdo a los datos reales de la operación que durante los meses de enero y febrero fue necesario suplir la demanda con apoyo de la planta del Cauca. Esto debido a que se presentaron demandas superiores a los 113.215 unidades (capacidad actual de la planta de Antioquia). Haciendo una revisión de los costos reales obtenidos los cuales fueron de \$5,413,536,965 para los meses de enero a abril se planteo un análisis de sensibilidad en el cual se aumentaba la capacidad de la planta de Antioquia de tal forma que lograra cumplir la demanda. Este análisis arrojó como resultado que al aumentar la capacidad en un 15% se obtienen ahorros del margen de los 61 MM por mes y al incrementar en un 21% se obtiene un margen de 64 MM.

Al analizar el plan de producción y la red de distribución actual comparándola con el modelo propuesto se puede concluir que la producción para minimizar los costos actuales se debe realizar desde la planta de Antioquia. Los despachos deben realizarse en un 92% directamente desde la planta y el 8% restante se maneja desde el cendis Antioquia. De esta manera lograremos la minimización de los costos de los procesos de producción, inventarios y distribución, optimizando los recursos de la compañía.

De acuerdo a un estudio de factibilidad técnico, la inversión para un aumento de capacidad de un 70 %, es de \$1.274 MM, correspondiente a una línea de igual capacidad a la actual. Teniendo en cuenta que tan solo se requiere de un 21% de capacidad para suplir el pico de demanda más alto y esto representa 768 MM de ahorro al año, tenemos una tasa de retorno del proyecto a 20 meses. Adicionalmente se tiene un excedente de capacidad de un 50% para nuevos proyectos.

De acuerdo al análisis de datos de la operación actual de la compañía se puede concluir que la demanda de esta línea de pasabocas está concentrada en un 75.86% en la región Caribe y nororiental del país, es interesante para posteriores estudios evaluar la posibilidad de localización de plantas en dicha región. Teniendo en cuenta que los costos de fletes representan el 12.4% del costo de la cadena dicha localización se convierte en un factor decisivo que puede hacer más rentable y competitivo el sector.

Se recomienda hacer un análisis profundo del comportamiento histórico de la demanda para la referencia de extruidos que permita tener pronósticos más acertados a la realidad que vive el mercado. La implementación de herramientas de análisis de la demanda, y de técnicas como promedio móvil simple, suavización exponencial doble y triple ayudaran a la compañía a realizar pronósticos de acuerdo a la venta, de esta manera podrán realizar sus presupuestos y requerimientos de materiales. Con los cuales podrá satisfacer la demanda logrando niveles óptimos de eficiencia.

Definir políticas claras de control de inventarios como sistema de control continuo (s, Q) o el sistema de control periódico (R, S), para revisar los niveles de inventario. Cualquiera de los sistemas implementados facilitaría la coordinación del control de varios ítems, y tendrán la capacidad de responder a las fluctuaciones de demanda durante el tiempo de reposición de los proveedores o del sistema de producción

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AMBROSINO, D., y SCUTELLA, M.G., Distribution Network Design: New Problems and Related Models. *European Journal of operational Research*, Vol. 165, 2005, p. 610-624

ARANGO SERNA martín Dario, ADARME JAIMES Wilson, ZAPATA CORTÉS Julián Andres, Localización: Ciencia e Ingeniería Neogranadina, Vol. 20, Nº. 1, 2010.

ATUL P. Kanyalkar and GAJENDRA K. Adil. A robust optimization model for aggregate and detailed planning of a multi-site Procurement-production-distribution system. hailesh J Mehta School of Management, Indian Institute of Technology – Bombay, Mumbai, Maharashtra, India (Received 22 May 2008; final version received 16 August 2008)

CROXTON, K.L. & W. Zinn, "Inventory Considerations in Network Design", *Journal of Business Logistics*, 26(1), 2005, 149-168.

CHOPRA. Sunil, MEINDL Peter. Administración de la cadena de suministro, estrategia planeación y operación, tercera edición, pearson prentice hall 4.2008.

H.BALLOU Ronald. Logística, administración de la cadena de suministro quinta edición, prentice hall 4.2004.

HILLIER, Frederick. LIEBERMAN Gerald. Introducción a la investigación de operaciones. Novena edición. Mc Graw Hill. 2010.

KANYALKAR, A.P. and ADIL, G.K., Aggregate and detailed production planning integrating procurement and distribution plans in a multi-site environment. *International Journal of Production Research*, 45 (22), 5329–5353. 2007.

LIANG, T.-F. Integrating production-transportation planning decision with fuzzy multiple goals in supply chains. Department of Industrial Engineering and Management, Hsiuping Institute of Technology, Gungye Road, Dali ity, Taichung, Taiwan 412, Republic of China. (Revision received December 2005)

M. D. ARANGO SERNA, W. ADARME Jaimes, J. A. Zapata Cortes. Gestión cadena de abastecimiento - logística con indicadores bajo incertidumbre, caso aplicado sector panificador Palmira (base de datos dialnet) fecha de consulta marzo 10 2012.

MORENO, Jorge. NIETO Luis. Desarrollo de un modelo de optimización con simulación para el apoyo de decisiones de localización de centros de distribución en la cadena de abastecimiento para una planta manufacturera en Colombia. Tesis de grado. Pregrado en Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. 2008.

PIÑO Jordán, R. Gestión de la Cadena de Abastecimiento. (Spanish). *Leadership: Magazine For Managers*, 4(11), 42. (2007).

TORO, Héctor. Modelación matemática de la cadena de abastecimiento en busca de Localización eficiente de plantas y/o centros de distribución en el ámbito colombiano. Tesis de grado. Pregrado en Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. 2001.

VIDAL, Carlos Julio. Fundamentos de gestión de inventarios. Colombia. Universidad del Valle Facultad de Ingeniería. Publicación Técnica .Segunda Edición. 2005. p. 158-160.

ANEXOS

Anexo 1: Modelo en AMPL.

Modelo en AMPL correspondiente al problema de optimización de la Supply Chain

Conjuntos

```
set DISTRITOS;      # Conjunto de distritos indexados por k.
set CENDIS;         # Conjunto de Cendis indexados por m.
set PLANTAS;        # Conjunto de Plantas indexados por i.
set PRODUCTOS;     # Conjunto de Productos indexados por j.
set MESES;          # Conjunto de Meses indexados por l.
```

Parametros

```
param CAP{i in PLANTAS}>=0;
# Capacidad de producción de cada planta i.

param CPN{j in PRODUCTOS,i in PLANTAS}>=0;
# Costo de producir cada producto j en la planta i.

param DEM {j in PRODUCTOS,k in DISTRITOS,l in MESES}>=0;
# Demanda de cada producto terminado j, en cada distrito k, para cada mes l.

param CINV{m in CENDIS}>=0;
# Costo de mantener inventario de cada producto j en los centros de distribución m.

param CAPCEN{m in CENDIS}>=0;
# Capacidad máxima de inventario en cada centro de distribución m.

param INVCEROC{j in PRODUCTOS,m in CENDIS}>=0;
# Inventario inicial de cada producto j en cada centro de distribución m.

param CFI {i in PLANTAS,m in CENDIS}>=0;
# Costo de flete de cada producto j desde la planta i al centro de distribución m.

param CF {i in PLANTAS,k in DISTRITOS}>=0;
# Costo de enviar cada producto j a cada distrito k, desde cada planta i.

param CFE{m in CENDIS,k in DISTRITOS}>=0;
# Costo de enviar cada producto j a cada distrito k, desde cada centro de distribución m.

param INVFINAL{j in PRODUCTOS}>=0;

param DESPACHOS=600;
```

Variables

```
var Z {j in PRODUCTOS, i in PLANTAS,m in CENDIS,l in MESES}>=0;
# Unidades despachadas desde la planta i a los cendis m.

var XY{j in PRODUCTOS, i in PLANTAS,k in DISTRITOS,l in MESES}>=0;
# Unidades despachadas desde la planta i a los distritos k.

var XZ{j in PRODUCTOS, m in CENDIS,k in DISTRITOS,l in MESES}>=0;
# Unidades despachadas desde el cendis m a los distritos k.

var Y {j in PRODUCTOS, m in CENDIS,l in MESES}>=0;
# Unidades en inventario en el cendis m.
```

Funcion Objetivo

minimize total_cost:

```
+ sum{j in PRODUCTOS, m in CENDIS, l in MESES}(Y[j,m,l]*CINV[m])
# Costo de mantener inventario de productos j en los cendis m.

+ sum{j in PRODUCTOS, i in PLANTAS, m in CENDIS, l in MESES}(Z[j,i,m,l]*CFI[i,m])
# Costo de transporte de productos j desde las plantas i a los cendis m.

+ sum{j in PRODUCTOS, i in PLANTAS, k in DISTRITOS, l in MESES}(XY[j,i,k,l]*CF[i,k])
# costo de transporte de productos j desde las plantas i a los distritos k.

+ sum{j in PRODUCTOS, i in PLANTAS, k in DISTRITOS, l in MESES}(XY[j,i,k,l]*CPN[j,i])
# costo de produccion de los productos j en las plantas i.

+ sum{j in PRODUCTOS, i in PLANTAS, m in CENDIS, k in DISTRITOS, l in MESES}(XZ[j,m,k,l]*CFE[m,k])
# Costo de transporte de productos j desde los cendis m a los distritos k.

+ sum{j in PRODUCTOS, i in PLANTAS, m in CENDIS, k in DISTRITOS, l in MESES}(XZ[j,m,k,l]*CPN[j,i]);
# costo de produccion de los productos j en las plantas i.
```

Restricciones

```
##### Debe haber un balance entre las unidades despachadas(PLANTA)para cumplir con la capacidad.
subject to equilibrio_planta{j in PRODUCTOS, i in PLANTAS, l in MESES}:sum{m in CENDIS}Z[j,i,m,l]
+sum{k in DISTRITOS}XY[j,i,k,l]<=CAP[i];

##### Debe haber un equilibrio (CENDIS) entre lo que se despacha, almacena y distribuye.
subject to equilibrio0_cendis{j in PRODUCTOS, m in CENDIS}:INVCEROC[j,m]+sum{i in PLANTAS}(Z[j,i,m,1])
-sum{k in DISTRITOS}(XZ[j,m,k,1])-Y[j,m,1]=0;

subject to equilibrio1_cendis{j in PRODUCTOS, m in CENDIS, l in MESES: l > 1}:Y[j,m,l-1]+sum{i in PLANTAS}Z[j,i,m,l]
-sum{k in DISTRITOS}XZ[j,m,k,l]-Y[j,m,l]=0;

##### Los Despachos desde los cendis y plantas deben satisfacer la demanda
subject to demanda{j in PRODUCTOS, k in DISTRITOS, l in MESES}:sum{m in CENDIS}(XZ[j,m,k,l])+sum{i in
PLANTAS}XY[j,i,k,l]>=DEM[j,k,l];

##### Los inventarios en los cendis no pueden ser mayores a su capacidad de almacenamiento
subject to inv_max_cendis{m in CENDIS, l in MESES}:sum{j in PRODUCTOS}(Y[j,m,l])<=CAPCEN[m];

##### Debe haber un inventario final de seguridad en los cendis correspondiente a 3 dias de venta
subject to inventario_seguridad{j in PRODUCTOS, l in MESES}:sum{m in CENDIS}(Y[j,m,l])>=INVFINAL[j];

##### Al final del mes no puedo tener producto almacenado en los cendis que tengan mas de un mes de fabricados.
subject to vida_util{j in PRODUCTOS, m in CENDIS, l in MESES}:sum{k in DISTRITOS}XZ[j,m,k,l]=Y[j,m,l];

##### El Numero minimo de cajas a despachar desde las plantas hacia los distritos es de 600.
subject to despacho_min1{k in DISTRITOS, l in MESES}:sum{j in PRODUCTOS, i in PLANTAS}XY[j,i,k,l]>=DESPACHOS;
```

Anexo 2: archivo datos

```

set PLANTAS:= CAUCA ANTIOQUIA;
set PRODUCTOS:= 127      150      128      152      100154  100138  100153  100137;
set DISTRITOS:= BARRANQUILLA  BOGOTASUR  BUCARAMANGA  CARTAGENA
CUCUTA NARINO  MEDELLIN
MEDELLINNORTE  MONTERIA      VALLEDUPAR  PEREIRA CALI  SANTAMARTA;
set CENDIS:= CDANTIOQUIA2 CDCAUCA2;
set MESES:= 1      2      3      4;

```

```

param CPN:      CAUCA  ANTIOQUIA:=
127            5209  4967
150            5907  5673
128            5607  5362
152            5511  5689
100154         13764 11076
100138         14817 12090
100153         14460 11732
100137         13634 11566;

```

```

param DEM:=
[127,*,*]: 1      2      3      4:=
BARRANQUILLA 460    926    347    830
BOGOTASUR    100    70     10     10
BUCARAMANGA  350    417    250    210
CALI          5      6      0      0
CARTAGENA    350    1048   200    400
CUCUTA       15     0      0      0
MEDELLIN     1150   990    642    726
MEDELLINNORTE 6414   4564   4289   3533
MONTERIA     1174   2310   587    450
NARINO       130    544    50     30
PEREIRA      120    80     50     55
SANTAMARTA   300    380    100    350
VALLEDUPAR   1396   1027   550    700

```

```

[128,*,*]: 1      2      3      4:=
BARRANQUILLA 800    1101   650    600
BOGOTASUR    733    871    1232   100
BUCARAMANGA  769    535    290    150
CALI          60     50     0      0
CARTAGENA    680    834    397    485
CUCUTA       50     0      0      0
MEDELLIN     1433   1618   726    1410
MEDELLINNORTE 7415   8016   2776   3989
MONTERIA     1374   1897   642    233
NARINO       1780   2483   805    1096
PEREIRA      430    310    220    290
SANTAMARTA   540    550    250    450
VALLEDUPAR   1399   1492   1050   1413

```


[150,*,*]:	1	2	3	4:=	
BARRANQUILLA		446	524	928	0
BOGOTASUR		225	20	360	0
BUCARAMANGA		357	15	210	0
CALI		90	160	0	0
CARTAGENA		215	520	200	300
CUCUTA		25	0	0	0
MEDELLIN		466	200	563	300
MEDELLINNORTE		3398	2960	3121	1124
MONTERIA		1145	1152	524	200
NARINO		1031	280	1500	220
PEREIRA		91	70	100	50
SANTAMARTA		405	450	100	169
VALLEDUPAR		600	644	1149	208

[152,*,*]:	1	2	3	4:=	
BARRANQUILLA		600	1039	2336	284
BOGOTASUR		500	1012	1470	700
BUCARAMANGA		800	781	522	615
CALI		30	30	0	0
CARTAGENA		702	930	795	928
CUCUTA		30	40	0	0
MEDELLIN		1082	1718	1674	1537
MEDELLINNORTE		5442	7510	8358	7928
MONTERIA		1883	1320	2371	1293
NARINO		1151	2216	1240	1284
PEREIRA		330	583	260	370
SANTAMARTA		500	600	539	650
VALLEDUPAR		1822	1410	2881	1185

[100137,*,*]:	1	2	3	4:=	
BARRANQUILLA		1350	3819	5809	925
BOGOTASUR		177	273	110	0
BUCARAMANGA		590	1075	550	840
CALI		40	0	0	0
CARTAGENA		1484	2373	2154	1688
CUCUTA		0	5	0	0
MEDELLIN		322	674	300	434
MEDELLINNORTE		2315	7206	2025	4575
MONTERIA		2922	6542	8758	3037
NARINO		396	840	160	95
PEREIRA		410	690	220	355
SANTAMARTA		1059	1650	1649	1250
VALLEDUPAR		1017	3148	4376	827

[100137,*,*]: 1 2 3 4:=

BARRANQUILLA	793	719	996	600
BOGOTASUR	35	15	0	0
BUCARAMANGA	113	0	35	30
CALI	0	0	0	0
CARTAGENA	478	350	380	150
CUCUTA	6	0	0	0
MEDELLIN	5	25	10	0
MEDELLINNORTE	2778	2172	880	1716
MONTERIA	2267	588	996	966
NARINO	35	60	0	50
PEREIRA	15	10	0	5
SANTAMARTA	540	512	227	351
VALLEDUPAR	1071	857	527	1054

[100153,*,*]:	1	2	3	4:=
BARRANQUILLA	2583	1013	580	2351
BOGOTASUR	58	0	70	10
BUCARAMANGA	384	421	5	10
CALI	0	0	0	0
CARTAGENA	1214	920	668	1005
CUCUTA	0	0	0	0
MEDELLIN	40	50	60	40
MEDELLINNORTE	5131	1747	109	1294
MONTERIA	3692	1734	840	2573
NARINO	82	65	41	50
PEREIRA	30	55	10	10
SANTAMARTA	1565	708	357	730
VALLEDUPAR	2989	1334	500	1672

[100154,*,*]:	1	2	3	4:=
BARRANQUILLA	6425	7703	5141	6166
BOGOTASUR	30	0	20	0
BUCARAMANGA	320	826	60	350
CALI	2	162	0	0
CARTAGENA	4905	5059	1995	1336
CUCUTA	0	0	0	0
MEDELLIN	2066	1310	1476	1597
MEDELLINNORTE	5301	5529	3986	6171
MONTERIA	11553	12224	5320	6624
NARINO	40	518	15	50
PEREIRA	480	224	0	75
SANTAMARTA	2456	1485	1119	1833
VALLEDUPAR	5423	6135	1805	2276;

param: CINV:=

CDCAUCA2 1044
 CDANTIOQUIA2 1194;
 param: CAP:=
 CAUCA 39600
 ANTIOQUIA 143215;

param: CAPCEN:=
 CDCAUCA2 10000
 CDANTIOQUIA2 8000;

param CF:	BARRANQUILLA	BOGOTASUR	BUCARAMANGA	CARTAGENA
CUCUTA	NARINO	MEDELLIN	MEDELLINNORTE	MONTERIA
VALLEDUPAR	PEREIRA	CALI	SANTAMARTA:=	
ANTIOQUIA	1967	1833	2567	1085
2567	2333	300	300	1775
1967	1367	1367	2317	
CAUCA	100000000	100000000	100000000	100000000
100000000	100000000	100000000	100000000	100000000
100000000	100000000	100000000	100000000;	

param CF:	VALLEDUPAR	PEREIRA	CALI	SANTAMARTA:=
ANTIOQUIA	1967	1367	1367	2317
CAUCA	100000000	100000000	100000000	100000000;

param CFI:	CDANTIOQUIA2	CDCAUCA2:=
CAUCA	100000000000	0
ANTIOQUIA	300	100000000000;

param CFE:	BARRANQUILLA	BOGOTASUR	BUCARAMANGA	CARTAGENA
CUCUTA	NARINO	MEDELLIN	MEDELLINNORTE	MONTERIA
VALLEDUPAR	PEREIRA	CALI	SANTAMARTA:=	
CDANTIOQUIA2	1967	1833	2567	1085
2567	2333	300	1	1775
1967	1367	1367	2317	
CDCAUCA2	3000	1750	2833	1800
2833	1417	1750	1750	2667
3083	1083	300	3167;	

param CFE:	VALLEDUPAR	PEREIRA	CALI	SANTAMARTA:=
CDANTIOQUIA2	1967	1367	1367	2317
CDCAUCA2	3083	1083	300	3167;

param:	INVFINAL:=
127	567
150	345
128	671
152	929
100154	2812
100138	400
100153	486
100137	987;

param	INVCEROC: CDCAUCA2	CDANTIOQUIA2:=
127	0	567
150	0	345
128	0	671
152	0	929
100154	1000	2812
100138	0	400
100153	0	486
100137	0	987;

Anexo 3: Resultados del modelo

NEOS Server Version 5.0									
Job#	:	197616							
Password	:	xlvHGoL							
Solver	:	Ip:Gurobi:AMPL							
Start	:	2012-05-21 23:16:26							
End	:	2012-05-21 23:16:27							
Host	:	neos-2.chtc.wisc.edu							
Disclaimer:									
This information is provided without any express or implied warranty. In particular, there is no warranty of any kind concerning the fitness of this information for any particular purpose.									

Job 197616 sent to neos-2.chtc.wisc.edu									
password: xlvHGoL									
----- Begin Solver Output -----									
Executing /opt/neos/Drivers/gurobi/gurobi-ampl-driver.py at time: 2012-05-21 23:16:26.824801									
Load Avg: (35.71 , 35.85 , 36.99)									
File exists									
You are using the solver gurobi_ampl.									
Executing AMPL.									
processing data.									
processing commands.									
Presolve eliminates 220 constraints.									
Adjusted problem:									
3150 variables, all linear									
885 constraints, all linear; 8534 nonzeros									
126 equality constraints									
759 inequality constraints									
1 linear objective; 3087 nonzeros.									
Gurobi 4.5.1: outlev=1									
threads=4									
Optimize a model with 885 rows, 3150 columns and 8534 nonzeros									
Presolve removed 4 rows and 608 columns									
Presolve time: 0.01s									
Presolved: 881 rows, 2542 columns, 7314 nonzeros									
Iteration	Objective	Primal Inf.	Dual Inf.	Time					
0	-9.5238354e+08	8.107630e+05	0.000000e+00	0s					
774	7.6015787e+09	0.000000e+00	0.000000e+00	0s					
Solved in 774 iterations and 0.02 seconds									
Optimal objective 7.601578720e+09									
Gurobi 4.5.1: optimal solution; objective 7601578720									
774 simplex iterations									

PLANEACION DE LA PRODUCCION Y DISTRIBUCION EN UNA EMPRESA DE CONSUMO MASIVO									

AUTOR: JOSE RUBEN TABARES PINEDA / JOHN JAIRO GAMBOA									

DESPACHOS DESDE PLANTAS A CENDIS =

Z	[* ,ANTIOQUIA,CDANTIOQUIA2,*]							
:	1	2	3	4	5	6	7	:=
127	1134	567	567	567	567	567	567	
128	1057	671	671	671	671	671	671	
150	690	345	345	345	345	345	345	
152	1538	929	929	929	929	929	929	
100137	1854	987	987	987	987	987	987	
100138	800	400	400	400	400	400	400	
100153	972	486	486	486	486	486	274	
100154	5194	2812	2812	2812	2586	2812	2812	
	[* ,ANTIOQUIA,CDCAUCA2,*]							
	[* ,CAUCA,CDANTIOQUIA2,*]							
	[* ,CAUCA,CDCAUCA2,*]							
:	5	7						:=
100153	0	212						
100154	226	0						

DESPACHOS DESDE PLANTAS A DISTRITOS =

XY	[* ,ANTIOQUIA,* ,1]									
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154	260137	:=
BARRANQUILLA	1125	959	675	1128	602	0	0	11146	0	
BOGOTASUR	47	338	65	618	368	0	0	144	0	
BUCARAMANGA	279	387	224	407	386	472	437	346	0	
CARTAGENA	589	496	265	695	1418	162	1101	4170	0	
CARTAGENAESPECIAL	0	0	0	0	0	0	0	0	1800	
CUCUTA	0	0	0	0	190	190	190	144	0	
MEDELLIN	905	1067	245	1370	489	0	126	1057	0	
MEDELLINORTE	997	634	24	1027	196	0	0	0	0	
MONTERIA	1251	824	510	1034	2462	0	0	10227	0	
NARINO	0	1479	878	2146	873	0	0	15	0	
VALLEDUPAR	1033	1360	1121	1330	1516	1237	1411	4991	0	
	[* ,ANTIOQUIA,* ,2]									
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154		:=
BARRANQUILLA	842	632	560	971	2098	4604	3277	10706		
BOGOTASUR	53	343	80	731	301	0	0	88		
BUCARAMANGA	303	393	243	319	441	484	423	332		
CARTAGENA	578	490	260	725	1393	152	1081	4005		
CARTAGENAESPECIAL	600	0	0	0	0	0	0	0		
CUCUTA	0	0	0	0	210	210	210	138		
MEDELLIN	889	1090	240	1465	480	0	114	858		
MEDELLINORTE	1072	719	17	1208	229	0	0	0		
MONTERIA	1088	1016	609	1133	2519	0	0	9823		
NARINO	769	532	1678	732	0	0	111	0		
VALLEDUPAR	1099	1479	833	1364	1561	1269	1434	4794		
	[* ,ANTIOQUIA,* ,3]									
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154	260137	:=
BARRANQUILLA	1062	980	758	1282	3506	2290	2250	11148	0	
BOGOTASUR	56	355	83	767	313	0	0	144	0	
BUCARAMANGA	304	367	215	431	495	487	440	346	0	
CARTAGENA	641	528	313	713	1444	173	1121	4171	0	
CARTAGENAESPECIAL	0	0	0	0	0	0	0	0	1700	
CUCUTA	0	0	0	0	218	218	218	144	0	
MEDELLIN	899	1086	249	1395	498	0	137	983	0	
MEDELLINORTE	1026	658	31	1263	218	0	0	0	0	
MONTERIA	1345	1256	753	1400	2406	0	0	14229	0	
NARINO	0	999	690	2182	951	0	0	90	0	
VALLEDUPAR	1279	1529	968	1614	1793	1400	1586	4992	0	

[* ,ANTIOQUIA ,*,4]										
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154	:=	
BARRANQUILLA	1058	976	745	1279	3737	2340	2312	11101		
BOGOTASUR	56	364	85	777	260	0	0	130		
BUCARAMANGA	303	417	242	430	527	517	430	344		
CARTAGENA	608	533	311	707	1432	168	1111	4153		
CARTAGENAESPECIAL	600	0	0	0	0	0	0	0		
CUCUTA	0	0	0	0	216	216	216	143		
MEDELLIN	914	1077	247	1383	494	0	131	954		
MEDELLINNORTE	1118	647	28	1244	263	0	0	0		
MONTERIA	1334	1246	747	1389	2385	0	0	10185		
NARINO	1012	699	2211	963	0	0	115	0		
VALLEDUPAR	1196	1552	991	1546	1729	1388	1597	4970		
[* ,ANTIOQUIA ,*,5]										
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154	260137	:=
BARRANQUILLA	1080	996	761	1306	3815	2389	2360	11478	0	
BOGOTASUR	57	360	84	780	253	0	0	148	0	
BUCARAMANGA	298	414	244	447	547	538	441	356	0	
CARTAGENA	649	535	317	722	1462	180	1135	4294	0	
CARTAGENAESPECIAL	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	
CUCUTA	0	0	0	0	245	245	245	148	0	
MEDELLIN	933	1144	252	1488	504	0	144	1188	0	
MEDELLINNORTE	1132	674	35	1290	289	0	0	0	0	
MONTERIA	1417	1323	793	1474	2533	0	0	10532	0	
NARINO	0	1018	702	2223	968	0	0	0	0	
VALLEDUPAR	1221	1548	1011	1552	1790	1417	1606	5140	0	
[* ,ANTIOQUIA ,*,6]										
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154	260137	:=
BARRANQUILLA	1051	970	741	1271	3714	2326	2297	11038	0	
BOGOTASUR	53	339	79	728	246	0	0	142	0	
BUCARAMANGA	294	421	238	436	502	526	439	342	0	
CARTAGENA	632	521	309	703	1423	164	1104	4130	0	
CARTAGENAESPECIAL	0	0	0	0	0	0	0	0	1700	
CUCUTA	0	0	0	0	238	238	238	143	0	
MEDELLIN	908	1113	245	1448	491	0	127	980	0	
MEDELLINNORTE	1107	639	25	1231	261	0	0	0	0	
MONTERIA	1273	1189	713	1325	2426	0	0	10128	0	
NARINO	0	948	655	2071	903	0	0	54	0	
VALLEDUPAR	1188	1542	956	1447	1718	1379	1587	4942	0	
[* ,ANTIOQUIA ,*,7]										
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154	260137	:=
BARRANQUILLA	1086	1001	765	1313	3835	2401	2372	11619	0	
BOGOTASUR	55	350	81	752	254	0	0	120	0	
BUCARAMANGA	343	445	270	482	563	595	480	360	0	
CARTAGENA	610	517	274	765	1470	183	1140	4347	0	
CARTAGENAESPECIAL	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	
CUCUTA	0	0	0	0	246	246	246	150	0	
MEDELLIN	1052	1260	253	1622	507	0	253	1147	0	
MEDELLINNORTE	1357	888	37	1524	296	0	0	0	0	
MONTERIA	1314	1227	736	1368	2917	0	0	10661	0	
NARINO	983	680	2145	935	0	0	14	0	0	
VALLEDUPAR	1227	1592	987	1499	1749	1424	1639	5203	0	
[* ,CAUCA ,*,1] (tr)										
[* ,CAUCA ,*,2] (tr)										
[* ,CAUCA ,*,3] (tr)										
[* ,CAUCA ,*,4] (tr)										
[* ,CAUCA ,*,5] (tr)										
[* ,CAUCA ,*,6] (tr)										
[* ,CAUCA ,*,7] (tr);										

DESPACHOS DESDE CENDIS A DISTRITOS =								
XZ	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,1]							
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154 :=
CARTAGENA	0	0	0	0	0	400	0	0
MEDELLIN	0	0	0	0	0	0	119	367
MEDELLINORTE	567	671	345	929	987	0	367	2345
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,2]							
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154 :=
CARTAGENA	0	0	0	0	0	400	0	0
MEDELLIN	0	0	0	0	0	0	126	509
MEDELLINORTE	567	671	345	929	987	0	360	2253
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,3]							
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154 :=
CARTAGENA	0	0	0	0	0	400	0	0
MEDELLIN	0	0	0	0	0	0	112	441
MEDELLINORTE	567	671	345	929	987	0	374	2346
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,4]							
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154 :=
CARTAGENA	0	0	0	0	0	400	0	0
MEDELLIN	0	0	0	0	0	0	116	464
MEDELLINORTE	567	671	345	929	987	0	370	2336
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,5]							
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154 :=
CARTAGENA	0	0	0	0	0	400	0	0
MEDELLIN	0	0	0	0	0	0	108	278
MEDELLINORTE	567	671	345	929	987	0	378	2415
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,6]							
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154 :=
CARTAGENA	0	0	0	0	0	400	0	0
MEDELLIN	0	0	0	0	0	0	118	430
MEDELLINORTE	567	671	345	929	987	0	368	2323
	[* ,CDANTIOQUIA2,* ,7]							
:	127	128	150	152	100137	100138	100153	100154 :=
CARTAGENA	0	0	0	0	0	400	0	0
MEDELLIN	0	0	0	0	0	0	0	337
MEDELLINORTE	567	671	345	929	987	0	380	2445
	[* ,CDCAUCA2,* ,1]							
:	100154 :=							
NARINO	100							
	[* ,CDCAUCA2,* ,2]							
:	100154 :=							
BOGOTASUR	50							
	[* ,CDCAUCA2,* ,3]							
:	100154 :=							
NARINO	25							
	[* ,CDCAUCA2,* ,4]							
:	100154 :=							
BOGOTASUR	12							
	[* ,CDCAUCA2,* ,5]							
:	100154 :=							
NARINO	119							
	[* ,CDCAUCA2,* ,6]							
:	100154 :=							
NARINO	60							
	[* ,CDCAUCA2,* ,7]							
:	100153	100154 :=						
BOGOTASUR	0	30						
NARINO	106	0						
:								

INVENTARIO EN CENDIS =							
Y	[* ,CDANTIOQUIA2,*]						
:	1	2	3	4	5	6	7 :=
	127	567	567	567	567	567	567
	128	671	671	671	671	671	671
	150	345	345	345	345	345	345
	152	929	929	929	929	929	929
	100137	987	987	987	987	987	987
	100138	400	400	400	400	400	400
	100153	486	486	486	486	486	380
	100154	2712	2762	2787	2800	2693	2782
	[* ,CDCAUCA2,*]						
:	1	2	3	4	5	6	7 :=
	100153	0	0	0	0	0	106
	100154	100	50	25	12	119	30