

OPTIMIZACIÓN DEL TAMAÑO DE LOTE DE PRODUCCIÓN AJUSTADO POR LA TRAZABILIDAD

FRANCISCO JAVIER BURBANO ARIAS



UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2011

OPTIMIZACIÓN DEL TAMAÑO DE LOTE DE PRODUCCIÓN AJUSTADO POR LA TRAZABILIDAD

FRANCISCO JAVIER BURBANO ARIAS

Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Industrial.

Director
Juan Pablo Orejuela, M.Sc.
Universidad del Valle



UNIVERSIDAD DEL VALLE
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y ESTADÍSTICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI
2011

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
3. OBJETIVOS.....	14
3.1 Objetivo Principal	14
3.2 Objetivos Específicos.....	14
4. JUSTIFICACIÓN	15
5. MARCO TEÓRICO	18
5.1 Tipos de Procesos de Producción	18
5.2 Fundamentos de la Gestión de Inventarios	19
5.2.1 Definición de Inventario.....	19
5.2.2 Necesidad de los Inventarios	20
5.2.3 Tipos de Inventario	21
5.2.4 Estructura de Costos de Inventarios	21
5.2.5 Características de los Modelos de definición del Tamaño del Lote.....	23
5.2.6 Técnicas de Dimensionado del Lote.....	26
5.3 Trazabilidad	31
5.3.1 Definición de Trazabilidad.....	31
5.3.2 Características de la Trazabilidad.....	32
5.3.3 Factores de Desempeño de un Sistema de Trazabilidad	33
5.3.4 Principios de la Trazabilidad.....	34
5.3.5 Direcciones de la Trazabilidad.....	37
5.3.6 Listas de Materiales y Gráficas de Gozinto	39
5.3.7 Dispersión del Proceso de Lotes	41
5.3.8 Costos de la Trazabilidad.....	43
6. DEFINICIÓN DEL TAMAÑO DE LOTE DE PRODUCCIÓN Y TRAZABILIDAD	47
6.1 Características de la Trazabilidad en los Procesos de Producción.....	47
6.2 La Trazabilidad y las características de definición del Tamaño del Lote	49
6.3 Implicaciones de los Proveedores en el Tamaño de Lote en Producción y la Trazabilidad	54
6.4 Análisis de los Instrumentos Técnicos utilizados para trabajar con Trazabilidad en el ámbito operativo	55
6.4.1 Códigos Alfanuméricos.....	56
6.4.2 Códigos de Barras.....	56

6.4.3	Identificación por Radio Frecuencia (<i>RFID</i>).....	57
6.5	Dispersión del Proceso de Lotes y la Trazabilidad	59
6.6	Elementos que amplifican los beneficios de la Trazabilidad	59
7.	INCIDENCIAS ECONÓMICAS DE LA TRAZABILIDAD EN EL TAMAÑO DE LOTE DE PRODUCCIÓN	61
7.1	Efectos de la Trazabilidad en los Costos asociados al Tamaño de Lote de Producción.....	61
7.1.1	Costo de Configuración	61
7.1.2	Costo de Ordenar	62
7.1.3	Costo de Producto.....	62
7.1.4	Costo de Posesión	62
7.2	Repercusiones Económicas de los factores de desempeño de la Trazabilidad ...	63
7.2.1	Amplitud.....	63
7.2.2	Profundidad.....	63
7.2.3	Precisión	64
7.2.4	Identificación de los productos.....	64
7.2.5	Segregación y Preservación de la identidad	64
7.2.6	Otros.....	64
8.	PROPUESTA EXPERIMENTAL PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	65
8.1	Notación y Definición	66
8.2	Descripción del modelo.....	68
8.3	Formulación Matemática	76
9.	CASO DE ESTUDIO.....	80
10.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	86
10.1	Implementación en Lingo.....	86
10.2	Análisis de los resultados iniciales	87
10.3	Escenario 1. Incremento en x_p	89
10.4	Escenario 2. Variación en ri_{ik}	92
10.5	Escenario 3. Variación en λ	95
10.6	Escenario 4. Variación en cpi_{ik}	98
10.7	Escenario 5. Variación en ca	104
10.8	Escenario 6. Variación en cf	107
10.9	Escenario 7. Variación en cp	110
10.10	Escenario 8. Variación en ci_{ik}	112
10.11	Escenario 9. Variación en DL	115
10.12	Escenario 10. Modelo con CR , sin CR y minimizando solo CR	117
11.	CONCLUSIONES	128

12. BIBLIOGRAFÍA.....	130
ANEXOS	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Lote Económico de Pedido EOQ.....	29
Figura 02. Nivel de inventario en el modelo EOQ.....	29
Figura 03. Nivel de inventario en el modelo EPQ	30
Figura 04. Direcciones de la Trazabilidad.....	38
Figura 05. Lista de materiales y Grafico de Gozinto asociado.	40
Figura 06. Lista de lotes multinivel y la explosión de lotes de materiales.....	43
Figura 07. Nivel de inventario de producto en contra del tiempo.	70
Figura 08. Inv. de producto terminado acum. durante el tiempo activo de producción. ...	71
Figura 09. Inventario de producto terminado listo para entrega.....	72
Figura 10. Modelo Grafico de la Dispersión de la Salchicha Tipo 1 (Lista de Materiales) ...	82
Figura 11. Gráfica del resultado inicial.....	88
Figura 12. Tamaño de lote de producción vs. Variaciones en % de x_p	90
Figura 13. Tamaño de lote de producción vs. Variaciones en unidades de x_p	91
Figura 14. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en x_p	91
Figura 15. Costo total vs. Variaciones en x_p	92
Figura 16. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en ri_{ik}	94
Figura 17. Dispersión del lote de producción vs Variaciones en ri_{ik}	94
Figura 18. Costo total vs. Variaciones en ri_{ik}	95
Figura 19. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en λ	97
Figura 20. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en λ	97
Figura 21. Costo total vs. Variaciones en λ	98
Figura 22. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en cpi_{ik}	100
Figura 23. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en cpi_{ik}	100
Figura 24. Costo total vs. Variaciones en cpi_{ik}	104
Figura 25. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en ca	106
Figura 26. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en ca	106
Figura 27. Costo total vs. Variaciones en ca	107
Figura 28. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en cf	108
Figura 29. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en cf	109
Figura 30. Costo total vs. Variaciones en cf	109
Figura 31. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en cp	111
Figura 32. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en cp	111
Figura 33. Costo total vs. Variaciones en cp	112

Figura 34. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en ci_{ik}	113
Figura 35. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en ci_{ik}	114
Figura 36. Costo total vs. Variaciones en ci_{ik}	114
Figura 37. Tamaño de lote de producción vs. Variaciones en DL.	116
Figura 38. Costo Total vs. Variaciones en DL.	117
Figura 39. Valor Objetivo con CR, sin CR y minimizando solo CR.	119
Figura 40. Costo de Ordenar con CR, sin CR y minimizando solo CR.	120
Figura 41. Costo de Materias Primas con CR, sin CR y minimizando solo CR.	120
Figura 42. Costo potencial de retirar productos con CR, sin CR y minimizando solo CR. ...	121
Figura 43. Costo de posesión con CR, sin CR y minimizando solo CR.	121
Figura 44. Costo de Obsolescencia con CR, sin CR y minimizando solo CR.	122
Figura 45. Dispersión del Lote de Producción con CR, sin CR y minimizando solo CR.	123
Figura 46. Tamaño del lote con CR, sin CR y minimizando solo CR.	124
Figura 47. Cantidad de producto faltante con CR, sin CR y minimizando solo CR.	125
Figura 48. Envíos tardíos con CR, sin CR y minimizando solo CR.	125
Figura 49. Envíos disponibles con CR, sin CR y minimizando solo CR.	126
Figura 50. Envíos de producto terminado con CR, sin CR y minimizando solo CR.	126
Figura 51. Tiempo de ciclo con CR, sin CR y minimizando solo CR.	127

LISTA DE TABLAS

Tabla 01. Características de los Procesos de Producción	48
Tabla 02. Composición del producto	81
Tabla 03. Riesgos en la utilización de carne como materia prima.....	83
Tabla 04. Parámetros	83
Tabla 05. Capacidad de los lotes disponibles de materia prima.....	84
Tabla 06. Riesgos de las materias primas.	84
Tabla 07. Rendimientos por tipo de materia prima.....	84
Tabla 08. Parámetros de costos.....	85
Tabla 09. Costo de la materia prima	85
Tabla 10. Modelo de implementación en Lingo	87
Tabla 11. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en xp	89
Tabla 12. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en ri_{ik}	93
Tabla 13. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs Variaciones en λ	96
Tabla 14. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en cpi_{ik}	99
Tabla 15. Capacidad lotes de materia prima al 10%.	101
Tabla 16. Capacidad lotes de materia prima al 15%.	102
Tabla 17. Resultados del modelo con el cpi_{ik} al 10% y 15%.	104
Tabla 18. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en ca	105
Tabla 19. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en cf	108
Tabla 20. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en cp	110
Tabla 21. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en ci_{ik}	113
Tabla 22. Tamaño del lote y Costo total vs. Variaciones en DL.	115
Tabla 23. Resultados del modelo con CR, sin CR y minimizando solo CR.	119

1. INTRODUCCIÓN

En el día de hoy las empresas en su necesidad de generar mayor valor agregado se encuentran orientadas a concebir nuevos procesos que aumenten su nivel de competitividad, generando tareas que apoyen la capacidad productiva además de que contribuyan a la consecución de mayores beneficios económicos. Con el objetivo de obtener una evolución en este enfoque, las empresas han desarrollado una serie de estrategias con el objetivo de mejorar ciertos atributos de sus procesos y por ende de los artículos que se fabrican; lo que contribuirá directamente a una mayor participación en el mercado, generando una brecha entre ellas y sus competidores. En ese marco de competitividad, los clientes cada día poseen mayores exigencias para las compañías y los productos que están fabrican, altos índices de calidad, diversidad de funciones o diseños e igualmente precios bajos.

Dado que en la actual economía se han presentado de manera frecuente una serie de situaciones negativas sobre el medio ambiente y la integridad de las personas, se ha generado una preocupación en la población en general, entidades de control ambiental y en los estados, frente a los procesos de fabricación de los artículos que se encuentran en el mercado. Ahora las personas observan con mayor detalle los productos que van a adquirir, por tal razón las compañías han visto la necesidad de implementar nuevas herramientas, con el propósito de cumplir con estos nuevos requerimientos del mercado.

De ese grupo de situaciones que han generado escepticismo entre la población se puede mencionar: la identificación de agentes biológicos y químicos en determinados productos, como lo fué la retirada de 83 tipos de juguetes escolares e infantiles de plástico muy populares entre los niños por parte de la compañía Mattel en 2007, alrededor de 1.5 millones de artículos producidos por su filial Fisher-Price, en China, se recogieron debido a que la pintura con las que estaban decorados contenía unos índices excesivos de plomo. La mayor parte de estos juguetes, 967.000, fueron recogidos en el mercado estadounidense y otros 533.000 de mercados internacionales como Reino Unido, Canadá y México (REUTERS, 2007).

Los juguetes afectados se vendieron entre mayo y agosto del 2007, por un valor de entre 5 y 40 dólares, según datos de la Comisión para la Seguridad de los Productos de Consumo de EEUU. Mattel, ofreció a los clientes que hayan adquirido esos juguetes devolverlos en las tiendas donde los adquirieron y recibir a cambio un vale por un muñeco o juguete similar (2007).

También se puede relacionar la aparición de enfermedades en animales como la influenza aviar altamente patógena en 1966, la enfermedad de Newcastle en 1971, la peste porcina en 1962, la fiebre aftosa que es una enfermedad que afecta a los animales de pezuña hendida como el ganado vacuno, los cerdos, las ovejas, las cabras, y los ciervos, y rara vez al hombre en 1929, entre otras (BÉDARD, 2007); estas enfermedades ocasionaron una alta mortalidad en la población animal además de efectos perjudiciales sobre las personas que ingirieron su carne, sin mencionar los retrasos en el crecimiento de los animales, bajo rendimiento, costos de tratamiento y en el peor de los casos su sacrificio; de igual manera es posible asociar las enfermedades hortofrutícolas, entre otras.

En esa medida los estados y los organismos de control a nivel mundial, con el ánimo de garantizar que los productos generados posean una alta inocuidad para los consumidores han desarrollado una serie de normativas legales y ambientales, con el objetivo de certificar los artículos que salen al mercado brindando una mayor confianza a los consumidores frente a los productos o servicios presentes.

Dentro de ese marco surge la trazabilidad, una herramienta que brinda atributos que permiten identificar el histórico, la ubicación y la ruta de un producto o un lote de productos a través de la cadena de suministro (ICONTEC, 2000). Entre los principios de esta herramienta se encuentran:

- Identificar en cada unidad de venta un código de lote.
- Conocer el proveedor y nº de lote de los productos utilizados en cada uno de los lotes,
- Diferenciar las condiciones de producción específicas de cada uno de los lotes (maquinaria o fase crítica, personal, etc.)
- Registrar el número de lote que se envía a cada cliente. La información de trazabilidad de las empresas debe permitir la rápida presentación a la autoridad competente de los listados de distribución que detallen los lotes, las fechas, los destinos, direcciones, códigos postales, teléfonos de contacto, etc.
- Localizar y recuperar el producto en caso de alerta o crisis alimentaria.
- Auditar periódicamente para asegurarnos de su idoneidad.

Además de permitir hacer seguimiento al proceso de fabricación de los productos, contribuye a garantizar la calidad de los insumos y herramientas utilizadas, así mismo permite ordenar los procesos productivos al interior de las empresas. La trazabilidad ha tomado gran importancia y es actualmente un requerimiento para poder exportar

productos a países como EEUU, Japón y el continente Europeo a partir del 1 de Enero del 2005 (GS1 México, 2008).

La trazabilidad es una herramienta que en principio puede ser más fácil de aplicar a tamaños de lote de producción pequeños. Sin embargo, las empresas en la mayoría de los casos no procesan productos en unidades de un solo artículo sino que se fabrican en lotes de productos, lo que trae consigo un detrimento en los costos asociados a alistamiento y fabricación, teniéndose la idea de que un incremento en la cantidad de productos por lote de producción concibe un efecto directamente proporcional en los costos de ejecución de trazabilidad y por ende en el costo de los productos.

El tamaño de lote de producción de equilibrio con trazabilidad es el problema de investigación, en tanto este proyecto pretende desarrollar una estrategia de dimensionamiento de tamaño de lote, en donde las organizaciones puedan verificar y entender las repercusiones operativas y económicas de aplicar trazabilidad en la definición del tamaño de lote de producción, asociando los elementos tradicionales del diseño de tamaño de lotes, para así poder tomar una decisión acorde a esta nueva necesidad y afín a los objetivos de la compañía.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la aparición de nuevas exigencias por parte de los consumidores y de las nuevas restricciones por parte de los estados y las entidades de control ambiental a nivel mundial, sobre los orígenes y procedencias de la materia prima y el proceso de transformación para la entrada y salida de productos a una determinada zona, ha forzado a las empresas a generar cambios estructurales en sus procesos productivos con el objetivo de brindar mayor confianza sobre los artículos que se fabrican.

Con el objetivo de trabajar en este enfoque algunas de las compañías de nuestro país y de otros lugares del mundo realizan grandes inversiones de dinero en proyectos de mejora de sus procesos administrativos u operativos, implementando herramientas de optimización o sistemas de información en los procesos productivos, muchos de estos en ocasiones son seleccionados por su reconocimiento en el mercado y el desempeño presentado en ciertos sectores de producción, sin contar muchas veces con el alto grado de complejidad que implica su adopción, el alto grado de capacitación para el personal, además del mantenimiento y actualización de los programas implementados. De igual forma como se han venido presentando una serie de grandes cambios y avances tecnológicos en el mundo, de la misma manera se han generado en los consumidores mayores requerimientos y necesidades de carácter subjetivo a satisfacer, motivo por el cual la industria ha optado por orientar el desarrollo de atributos como lo eran el costo y la calidad por aspectos como utilidad, diseño, resistencia y funcionalidad.

En esta búsqueda de elementos que incrementen valor para el cliente, las compañías han venido implementando en sus procesos de producción nuevos hábitos de fabricación que los diferencien de sus contendientes comerciales, en esa búsqueda se han presentado inconvenientes debido a que los artículos producidos presentan inconsistencias de tipo estructural o la materia prima e insumos con que se han producido son inapropiados. De igual forma, se ha identificado que la utilización de diferentes lotes de un mismo tipo de insumo o la utilización de diferentes máquinas u herramientas en la fabricación de un mismo lote influye en cierto modo con la homogeneidad de los artículos producidos.

Al mismo tiempo el deseo de generar una mayor productividad ha permitido que se presente el uso inadecuado de recursos como lo son la ampliación de las jornadas de trabajo, la excesiva reducción de costos en insumos, en alistamientos, en costos de

mantenimiento o de proceso que inciden de forma directa en las características de los artículos que se producen. Tal abuso ha generado que se presenten una serie de hechos no previstos, como son: la disminución en la calidad, obtención de productos con baja complejidad y funcionalidad e igualmente un bajo nivel de inocuidad.

Por tal motivo viene tomando confianza dentro de las compañías la adopción de un instrumento como lo es la Trazabilidad, herramienta que brinda un mejor control de los artículos creados, además de que permite realizar una asociación de objetos los cuales poseen aspectos comunes tales como procedencias de insumos, estado de máquinas, fechas de fabricación, operarios involucrados en el proceso, con lo que se brinda una mayor uniformidad en las características de los artículos producidos. Esta herramienta brinda altos beneficios en el ámbito de la calidad además que ofrece una gran variedad de aplicaciones que pueden generar beneficios específicos ya que permite llevar un mejor control de las actividades asociadas al proceso de producción y a la cadena de abastecimiento, sin embargo la ejecución de esta herramienta genera una serie de repercusiones en el campo de producción comenzando por el hecho de que adicionar algunos elementos de trazabilidad hace que los productos incrementen su valor.

Es posible hablar del costo generado por el número de transacciones adicionales que deben realizarse para llevar un mejor seguimiento del producto a lo largo del ciclo de vida, comenzando por el ingreso de materias primas hasta la entrega del producto terminado, además es cuestionable la viabilidad económica de utilizar un mismo lote de una materia prima específica para no incurrir en variabilidad de las especificaciones, o la utilización del número específico de máquinas dentro del proceso, ya que el solo hecho de que deba contarse con un sistema que permita identificar las características de un producto específico en cualquier punto de la cadena de abastecimiento hace que los métodos tradicionales de dimensionamiento de lote sean obsoletos. Para ello se busca desarrollar una metodología la cual asocie todas estas nuevas actividades dentro de un mismo contexto para así tomar las mejores decisiones. De acuerdo a la dirección en que se aplique la trazabilidad se podrán identificar situaciones que afectan de manera directa e indirecta la consecución del dimensionamiento del tamaño de lote. El motivo de este proyecto es identificar estos aspectos, analizar sus repercusiones operativas y económicas e implementarlas en el desarrollo de una metodología que contenga los elementos usuales de la planeación y la programación de la producción.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Principal

Desarrollar una metodología que permita encontrar un tamaño de lote de producción de equilibrio económico, entre los costos productivos asociados a generar la dimensión de tamaños de lote, sus implicaciones productivas y los costos asociados con la trazabilidad.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar los impactos que tiene implementar trazabilidad en el diseño de la dimensión del tamaño de lote de producción.
- Describir las repercusiones económicas que conlleva la ejecución de trazabilidad, en la optimización del tamaño de lote.
- Establecer un modelo matemático para la definición de los costos y validar su aplicación en un estudio de caso.

4. JUSTIFICACIÓN

Este documento tiene como finalidad permitir a la industria que se conozca e identifique los factores del proceso de producción que de alguna manera se ven afectados por la implementación de una herramienta como lo es la trazabilidad, además de que permite analizar sus repercusiones en el proceso y según su proceso de fabricación y sus incidencias económicas.

El objetivo de este trabajo es demostrar que la ejecución de trazabilidad aparte de permitir el cumplimiento de los requerimientos exigidos por los organismos de control a nivel local y mundial para la comercialización de productos entre países, genera una serie de impactos en el proceso de producción debido a que se modifican diversas actividades y se agregan otras como la identificación, captura y almacenamiento de datos en toda la cadena de suministro. La entrada en vigencia de leyes que obligan a gestionar y recopilar toda la información necesaria para poder asegurar la trazabilidad de los productos, exige a las compañías rediseñar su estructura con el objetivo de garantizar la calidad en la información, debido a que según las normativas regulatorias cada operador es responsable de identificar en su tramo el origen de las materias primas, el proceso de elaboración y su distribución para todo producto.

De igual forma la trazabilidad será una prenda de garantía para la industria en el caso de presentarse irregularidades al interior del proceso productivo, ya que se facilita la identificación de averías en máquinas o herramientas, de falencias en la composición o contaminación de los insumos y al mismo tiempo de ofrecer a las compañías respuestas más inmediatas a problemas y reclamaciones ocasionados tras la salida de los productos al mercado.

Es claro que muchas de las compañías no se encuentran preparadas para desplegar estos cambios dentro de sus actividades de manufactura por lo que se pretende desarrollar un método con el que se facilite a las compañías el implementar a sus actividades habituales de producción costos y acciones asociadas a realizar trazabilidad desde una etapa de la cadena de suministro como lo es la definición del tamaño de lote, y siguiendo las actividades necesarias para identificar posibles fallas, asimismo proporcionando información sobre sus causas, detectadas en cualquier punto de la cadena, desde su producción en origen hasta la venta al consumidor.

Se desea encontrar un tamaño de lote de producción que se ajuste por los atributos de Trazabilidad, con el cual se cumplirán con los requisitos mínimos exigidos por la ley y además potenciando algunas situaciones dentro de las compañías como lo es generar niveles adecuados de inventarios, (tanto de materias primas como de productos terminados) además de brindar beneficios de calidad al generar una mayor cantidad de productos inocuos y con especificaciones más exactas, generando artículos en periodos de tiempo más cortos; así mismo, se brinda a la cadena productiva de un eficiente programa de vigilancia y control, con la participación activa de los agentes involucrados, con una organización eficiente, ágil e innovadora.

Esta investigación busca determinar un tamaño de lote el cual permita realizar ajustes a la capacidad debido a las exigencias del mercado y la fluctuación de la demanda, generando productos inofensivos, promovido por la producción del número de artículos necesarios con lo que se desea eliminar los excedentes que en ocasiones representan una gran inversión de capital que permanecerá retenida por largos periodos de tiempo obviando la concepción de altos costos de oportunidad además de generar costos de deterioro para el caso de los productos que tiene una restricción en el ciclo de vida. Igualmente permitirá ofrecer productos que respondan a las diferentes necesidades de los clientes, se responderá de mejor forma a una eventualidad identificando con mayor rapidez sus causas, el número de productos y lotes implicados, con el propósito retirar lo más pronto los artículos relacionados y disminuir la amenaza frente a los perjuicios que estos eventos pueden ocasionar a la imagen de la empresa.

En la actualidad uno de los instrumentos técnicos para trabajar trazabilidad que más ha tomado fuerza es la identificación a través de Sistemas *RFID*, sin embargo posee también detractores debido a su alto costo de implementación. Cabe aclarar que este trabajo no pretende analizar la viabilidad de implementar una técnica u otra, lo que se pretende es comenzar a trabajar aspectos concernientes a trazabilidad desde la definición del tamaño de lote de producción, con lo que se busca obtener una cantidad acorde a la realidad del mercado, sus requerimientos y las necesidades del usuario como de la compañía. Contribuyendo al aseguramiento de la calidad de los productos y la certificación para la comercialización en mercados como la unión europea, permitiendo el control en tiempo real de las operaciones debido a que se identificara los lotes de materia que componen el lote de producción de un producto en particular, lo que repercutirá en una mayor eficacia en la gestión de incidencias, aumento en la productividad y el detrimento de los costos operativos, a la par permitiendo a las compañías el emitir boletines de calidad para los clientes en donde se demuestren los controles realizados a los procesos y sus resultados.

Los beneficiarios de la ejecución de esta metodología dentro de los procesos productivos son tres, los consumidores, las empresas productoras en cabeza de sus accionistas y las entidades gubernamentales y de control. Para los consumidores habrá un aumento de confianza con respecto a los productos que adquieren debido a la producción de artículos inocuos con altos índices de calidad, con garantías efectivas y eficaces que protegen la vida de las personas.

Para los fabricantes habrá también beneficios, debido a que se presentara un incremento en la imagen de su marca en razón de que los procesos se encuentran certificados puesto que brindarán mayor agilidad en la toma de decisiones y la identificación del origen del problema frente a cualquier reclamación por parte de los clientes. Esto mejorara su participación en el mercado y puede representar incrementos en sus ingresos, una disminución en los costos operativos debido al desarrollo de mejores prácticas de trabajo, la reducción de desperdicios y el aumento en el nivel de servicio al cliente. Por último, las entidades de control encargadas de realizar las auditorias delegadas por la ley se verán favorecidas debido a que la información presente al interior de las compañías en especial de sus actividades y procesos facilitará sus controles, ya que habrá una mayor rapidez y efectividad en cada una de sus visitas lo cual se representa en la optimización de recursos, como por ejemplo el tiempo.

Si proyectos y herramientas como la trazabilidad, no se implementan dentro de los procesos de manufactura en la industria, las compañías perderán grandes oportunidades comerciales y se presentara un detrimento en la participación en el mercado debido a que las puertas para la comercialización de sus productos se verán cerradas puesto que no cumplen con los requisitos exigidos por las leyes y normativas de algunos países para el ingreso de productos en su territorio, además de que se presenta una desventaja comercial frente a sus competidores directos generado por la producción de artículos con menores índices de inocuidad y garantías de calidad. Asimismo los consumidores se verán amenazados o afectados por la producción de artículos los cuales no cumplen las especificaciones y presentan una alta variabilidad en las condiciones de fabricación que puede representarse en pérdidas para la compañía puesto que debe realizar la retirada de una cantidad de productos del mercado, del mismo modo puede que se retiren productos que no presenten inconvenientes lo que acrecentaría el impacto financiero para las compañías.

5. MARCO TEÓRICO

Antes de hablar de dimensionamiento de tamaños de lote y de lo que corresponde a Trazabilidad, es de importancia comprender los procesos de producción, la definición de Inventarios así como los costos y acciones que estos conllevan, del mismo modo se debe realizar la descripción de la metodología de tipos de inventarios existentes (para la definición de tamaños de lote) así como los conceptos y actividades que implica ejecutar la Trazabilidad.

5.1 Tipos de Procesos de Producción

Una de las decisiones primordiales para el correcto funcionamiento de las operaciones es seleccionar la estrategia de flujo, existen cinco tipos de los cuales los gerentes pueden elegir¹.

- *Proceso de Proyecto.* La producción a pedido se identifica por fabricar productos de diferentes especificaciones de acuerdo al pedido específico del cliente, se caracteriza por un alto grado de personalización, la secuencia de operaciones y el proceso son únicos para cada proyecto, lo que se traduce en productos únicos en su clase. Un proceso de producción por proyectos trabaja con un nivel muy alto de personalización y el bajo volumen. Los proyectos tienden a ser complejos, a durar bastante tiempo y a ser extensos.
- *Proceso de Producción Intermitente.* Un proceso de producción intermitente posee la elasticidad necesaria para producir diversos artículos o servicios en cantidades significativas. Elaboran productos por pedido y no los producen con anticipación, la mayoría de los trabajos poseen una secuencia, de pasos de proceso diferente. La causa de esto es algunos segmentos de un proceso logra ser idéntico en la mayoría de los trabajos y que algunos clientes repiten sus pedidos de vez en cuando.
- *Proceso por Lotes.* Discrepa del proceso intermitente debido a que posee distintos condiciones de volumen, cantidad y variedad. Los volúmenes de producción son más altos debido a los mismos productos o servicios, se suministran de manera repetida. Algunos de los componentes que harán parte del producto o servicio final suelen

¹ KRAJEWSKI. et al., Óp. cit., p. 92-93.

producirse por adelantado. El patrón de flujo es desordenado, sin que haya una secuencia modelo de actividades a través de toda la instalación.

- *Proceso en Línea.* Se localiza entre los procesos por lotes y los continuos, se caracteriza por volúmenes de producción altos y por qué los productos o servicios que se producen se encuentran estandarizados, lo cual permite organizar los recursos en torno a un producto o servicio. Los materiales avanzan de manera lineal de una operación a la siguiente, de acuerdo a una secuencia fija y se mantiene un nivel bajo de inventario entre operaciones. La diversidad en los productos es posible mediante a un minucioso control de la incorporación de operaciones patrón al producto o servicio principal.
- *Proceso Continuo.* La producción continua se caracteriza por producir grandes lotes de producto uniforme para demandas conocidas, aparte de la producción estandarizada, de alto volumen y con flujos de línea rígidos. El proceso es intensivo en capital y no se interrumpe durante las 24 horas del día, con el objetivo de maximizar la utilización del equipo y evitar los altos costos de parar y poner nuevamente en marcha la producción.

5.2 Fundamentos de la Gestión de Inventarios

5.2.1 Definición de Inventario

Se define el Inventario como “Una cantidad almacenada de materiales que se utilizan para facilitar la producción o para satisfacer las demandas del consumidor. Comprende el conjunto de recursos útiles que se encuentran ociosos en algún momento”. El Inventario también puede referirse a un recurso ocioso que tiene un valor económico potencial.

El inventario es necesario para tener disponibilidad de productos terminados para una posible venta, de materias primas y de productos en proceso para que la producción no sufra paros. La determinación del inventario depende de muchas variables como: tiempos de entrega, confiabilidad de proveedores, capacidades de producción, demanda de productos, niveles de servicio y políticas.

Uno de los objetivos para alcanzar el éxito empresarial es tener un buen control de los inventarios y de la cadena de abastecimiento, debido a que mantener inventarios implica

un alto costo y este representa una cantidad de dinero detenido, lo cual genera un costo de oportunidad y costos generados por el deterioro de los productos. Entre las metas que debe perfilarse una compañía se encuentra presentar un buen nivel de servicio contando con los inventarios estrictamente necesarios. Para ello debe recurrir a diversos grupos de herramientas avanzadas y metodologías que le permitan presentar un nivel adecuado de existencias en bodega supliendo la oferta y demanda fluctuante.

5.2.2 Necesidad de los Inventarios

Se puede deducir del concepto de Inventarios, la necesidad de tener existencias, nace o tiene su origen en la utilidad que estos nos reportan, referida por (PARRA G., S.F.):

Cantidad	Poder disponer del artículo en la cantidad necesaria.
Oportunidad	En el momento o lugar deseado
Calidad	Con la seguridad de una calidad conveniente en el momento de utilizarse el artículo.
Precio	Poder disfrutar del artículo al precio más económico.

En general, interesará mantener grandes inventarios cuando²:

- Los costes de realización de pedidos son elevados.
- Los costes de almacenamiento son bajos.
- Realizando grandes pedidos es posible obtener grandes descuentos.
- Se espera un crecimiento sustancial de la demanda.
- Se esperan fuertes subidas de los precios.

Se mantendrán bajos niveles de inventarios cuando:

- Los costes de almacenamiento son elevados y los de pedido bajos.
- La demanda de la empresa es estable.
- Los proveedores son de confianza y no hay problemas de reaprovisionamiento.
- No es posible aplazar el pago a los proveedores y existen problemas de financiación.
- Se esperan importantes disminuciones de los precios.

² Tomado de La Gestión de los Inventarios,
http://www.escolapia.cat/terrassa/aulavirtual/assignat/empresa/Inventaris_esp.pdf

5.2.3 Tipos de Inventario

Existen cuatro tipos de inventarios para un determinado artículo: del ciclo, de seguridad, de previsión y en tránsito. Estos no pueden identificarse por sus atributos físicos, sin embargo en términos conceptuales, cada uno de esos cuatro tipos tiene una gestación absolutamente diferente (KRAJEWSKI, et al., 2000).

- *Inventario del Ciclo.* La porción del inventario total que varía en forma directamente proporcional al tamaño de lote se conoce como inventario del ciclo. La frecuencia con que deben hacerse los pedidos y la cantidad de los mismos recibe el nombre de Tamaño de Lote.
- *Inventario de Seguridad.* El inventario de seguridad es una protección contra la fluctuación de la demanda, del tiempo de entrega y del suministro. Este tipo de inventarios son convenientes cuando los proveedores no entregan la cantidad deseada, en la fecha convenida y con una calidad aceptable, o bien, cuando en la fabricación de los artículos se generan cantidades considerables de material de desperdicio o requieren de muchas correcciones.
- *Inventario de Previsión.* El inventario de previsión se denomina al inventario que utilizan las compañías para absorber las alteraciones que se presentan a menudo con la tasa de demanda o en el suministro. Esa irregularidad en la demanda provoca que un fabricante recolecte inventario de previsión en los periodos de baja demanda, con el objetivo de no incrementar demasiado sus niveles de producción cuando la demanda alcance sus puntos máximos.
- *Inventario en Tránsito.* En el sistema de flujo de materiales, el inventario que se mueve de un punto a otro recibe el nombre de inventario en tránsito. Los materiales son transportados desde los proveedores hasta la planta, de una operación a la siguiente dentro del taller, de la planta a un centro de distribución o cliente distribuidor, y del centro de distribución a un minorista.

5.2.4 Estructura de Costos de Inventarios

Existen cinco tipos de costos pertinentes según (EVERETT, et al., 1991):

- *Costo del Producto.* Este es el costo de comprar y producir los artículos individuales del inventario. El costo del artículo generalmente se expresa como un costo unitario por la cantidad adquirida o producida
- *Costo de Adquisición o de Ordenar Pedidos.* El costo de ordenar pedidos está relacionado con la adquisición de un grupo o lote de artículos. El costo de ordenar pedidos no depende de la cantidad de artículos adquiridos, se asigna al lote entero. Este costo incluye la mecanografía de la orden de compra, la expedición de la orden, los costos de transporte, etc.
- *Costo de Manejo de Inventario.* Los costos de manejo de inventario, conservación o posesión están relacionados con la permanencia de artículos en inventario durante un periodo. El costo de conservación usualmente se carga como un porcentaje del valor por unidad en el tiempo. En la práctica, los costos de conservación están generalmente en el rango de 15 a 30 % al año. Los costos de inventario usualmente consisten de tres componentes:
 - ❖ Costo de capital
 - ❖ Costo de almacenamiento
 - ❖ Costos de obsolescencia, deterioro y pérdida
- *Costo de Inexistencia.* El costo de inexistencia refleja las consecuencias económicas cuando se terminan los artículos almacenados. Aquí existen dos clases. Primero, supónganse artículos con orden de respaldo o en espera de surtirse por parte del comprador y que este último espera hasta que el material le llegue. Puede haber cierta pérdida de plusvalía o de negocios futuros asociada con cada pedido de respaldo debido a que el cliente tiene que esperar. Esta pérdida de oportunidad se contabiliza como un costo de inexistencias. El segundo caso es cuando se pierde la venta si no se tiene el material listo. Se pierde la ganancia que representa la venta, y la plusvalía, en la forma de ventas futuras, se puede perder también.
- *Costo de Operación del Sistema de Procesamiento de la Información.* Ya sea de forma manual o electrónica, hay que actualizar los registros a medida que varían los niveles de las existencias. Con frecuencia estos costos de operación son más fijos que variables dentro de un margen considerable (volumen). Por tanto los costos de la doctrina de operación, no son considerados en la mayoría de los casos.

(CHASE, et al., 2005), agrega un costo más a la estructura de costo de inventarios: el costo de Preparación.

- *Costo de Preparación (configuración o cambio de producción).* La fabricación de cada producto distinto implica obtener materiales necesarios, preparar el equipo de forma específica, llenar los documentos requeridos, cobrar correctamente por el tiempo y los materiales y sacar las existencias anteriores de material.

5.2.5 Características de los Modelos de definición del Tamaño del Lote

La definición del tamaño de lote de producción es uno de los más importantes y también uno de los problemas más complejos en lo que concierne a planeación de la producción, la definición de tamaños de lote depende en gran parte de las características, los siguientes atributos afectan la clasificación el diseño y la complejidad de las decisiones en la definición del dimensionado de lote (KARIMI, et al., 2003).

- *Horizonte de Planificación.* El horizonte de planificación es el intervalo de tiempo el programa maestro de producción se extiende a futuro, puede ser finito o infinito. Un horizonte de planificación finito es usualmente acompañado por una demanda dinámica y un horizonte de planificación infinito por una demanda estacionaria.
- *Número de Niveles.* Los sistemas de producción pueden ser de un solo nivel o multinivel. En los sistemas de un solo nivel por lo general el producto final es simple. Los insumos, se procesan en una sola operación tal como duplicar o repartir. En otras palabras el producto final es directamente producido de materias primas o materiales comprados sin ensambles intermedios. Las demandas de productos se tasan de órdenes de clientes o pronósticos de mercado. Este tipo de demanda se denomina demanda Independiente. En los sistemas multinivel hay una relación de precedencia de componentes entre los artículos. Las materias primas después de procesarse en varias operaciones transformándose a producto final. La salida de una operación (nivel) es la entrada de otra operación. Por lo tanto, la demanda en un nivel depende de la demanda para el nivel de su precedencia. Este tipo de demanda se conoce como demanda Dependiente. Los sistemas con múltiples niveles tienen mayor dificultad para resolver que los problemas de uno solo. Los sistemas multinivel se distinguen por el tipo de la estructura del producto, la cual posee entregas, ensamble, desmontaje generalmente conocido como sistemas *MRP*.

- *Número de Productos.* El número de artículos o productos finales en un sistema de fabricación es otra de las características importantes en la definición y complejidad de los problemas de planificación de producción. Existen dos tipos principales de sistemas de fabricación. En la planificación de la producción de un solo artículo hay un solo artículo final (producto final) para el cual tiene que organizarse la actividad de planificación, mientras en la planificación de un sistema multinivel, existen varios artículos finales.
- *Capacidad o Restricciones de Recursos.* Los recursos o capacidad en un sistema de producción incluyen el recurso humano, equipos, presupuesto, entre otros. Cuando no existe restricción sobre los recursos el problema se expresa como inhabilitado, y cuando las restricciones de capacidad son dichas explícitamente se denomina habilitado. Las restricciones de capacidad son importantes, y directamente afectan la complejidad del problema. Será más difícil de solucionar el problema cuando existen restricciones de capacidad.
- *Deterioro de Artículos.* En el caso en el que es posible el deterioro de los artículos, se encontraran restricciones tiempo de ocupación de inventario. Esta es otra característica que puede afectar la complejidad del problema.
- *Demanda.* El tipo de demanda se considera como una entrada para el modelo del problema. La demanda Estática significa que este valor no cambia con el tiempo, es estacionaria o constante. Si el valor de la demanda se conoce con anticipación (estática o dinámica), es designada demanda Determinista, pero si esta no se conoce exactamente y los valores de demanda se basan en probabilidades, entonces se denomina demanda Probabilística.

En los casos en donde la demanda es Independiente, los requerimientos de un artículo no dependen de las decisiones respecto al tamaño de lote de otro artículo. Este tipo de demanda se puede identificar en los sistemas de producción de un solo nivel. En la definición de tamaños de lote multinivel donde hay una relación de precedencia de componentes entre los artículos, porque la demanda en un nivel depende de la demanda de sus precedentes (nivel previo), esta se denomina demanda Dependiente. Problemas con demandas dinámicas/dependientes son más complejos que demandas estáticas/independientes. También, problemas con demanda probabilística serán más complejos que problemas con demanda determinista.

- *Estructura de Configuración.* La estructura de configuración es otra característica importante que directamente afecta la complejidad de la definición de los tamaños de lote. Los costos de configuración y/o tiempos de configuración, son usualmente modelados para introducir variables cero o uno en el modelo matemático del problema y por qué adiciona mayor grado de dificultad para resolver el problema. Normalmente el cambio de producir diferentes artículos puede incurrir en tiempos y costos de configuración. Hay dos tipos de estructura de configuración: la estructura de configuración simple y la estructura compleja.

Si el costo y el tiempo de configuración son independientes de la secuencia y de las decisiones de periodos anteriores, se denomina estructura simple de configuración, pero cuando estos son dependientes de la secuencia o de periodos precedentes, se denomina configuración compleja. Tres tipos de configuración compleja serán descritas ahora.

Primero, si es posible continuar la producción de los periodos anteriores dentro del periodo en curso sin la necesidad de adicionar configuraciones, por lo tanto se reducen los costos y tiempos de configuración. La estructura se denomina configuración remanente. También es posible definir un segundo tipo de configuración compleja, de familia o configuración mayor, generado por similitudes en el proceso de fabricación y diseño de un grupo de artículos. Una configuración de artículo o configuración menor también ocurre cuando se cambia la producción entre artículos de la misma familia. Si se tiene una configuración secuencia-dependiente, el costo de configuración y el tiempo del artículo dependen de la secuencia de producción, este es el tercer tipo de estructura de configuración compleja. Es obvio que las estructuras complejas tienen mayores inconvenientes en el modelado y solución de los problemas de definición de tamaño de lote.

- *Escasez de Inventarios.* La escasez de inventario es otra característica que afecta la modelación y complejidad de la solución de problemas. Si la insuficiencia se permite esto significa que es posible satisfacer la demanda en curso en periodos futuros (Caso de Ordenes Retrasadas), o podría ocurrir que la demanda no se satisfaga por completo (Caso de Ventas Perdidas). La combinación de Ordenes Retrasadas y Ventas Perdidas también es posible. Este usualmente introduce un Costo de Escasez en la función objetivo. Problemas con escasez son más complicados que sin esta.

5.2.6 Técnicas de Dimensionado del Lote

Frente a las técnicas clásicas por ejemplo la Cantidad Fija de Pedido o Período Fijo, también han aparecido técnicas aproximadas que, si bien en general no son optimizadoras, suelen ser más adecuadas para el tratamiento de diversos casos (DOMINGUEZ MACHUCA, et al., 1995):

- *Pedidos Lote a Lote.* Es la técnica más simple y consiste en hacer los pedidos iguales a las necesidades netas de cada período, minimizando así los costos de posesión. Son variables tanto los pedidos como el intervalo de tiempo entre los mismos.
- *Período Constante.* Se fija el intervalo entre pedidos de forma intuitiva o empírica. Una vez establecido este, los lotes se igualan a la suma de las necesidades netas en el intervalo elegido, resultando aquellos, lógicamente, variables. En esta técnica y en las restantes, en la que los pedidos agrupan necesidades netas de varios periodos, los lotes deben hacerse llegar en el primero de los períodos computados.
- *Mínimo Costo Unitario.* La decisión se basa en el costo unitario, entendiendo por tal la suma del costo de emisión y de posesión por unidad. Se comienza calculando este costo para el caso de pedir un lote igual a las necesidades netas del primer periodo; se continúa para el caso de los dos primeros períodos, etc., seleccionando el lote que dé lugar al primer mínimo relativo. Se continúa del mismo modo con las necesidades netas aún no cubiertas hasta llegar al límite del horizonte de planificación.
- *Mínimo Costo Total.* La suma total de costos de posesión y de emisión se minimizan cuando ambos son lo más parecido posibles, ante lo cual hay que decir que si bien esto es cierto para demandas continuas y bajo ciertas hipótesis, no tiene por qué cumplirse en el caso de demandas discretas.
- *El Método de Silver-Meal.* Con esta técnica se selecciona aquel lote que da lugar al mínimo costo total (emisión + posesión) por periodo para el intervalo cubierto por el reaprovisionamiento. Los distintos lotes que hay que considerar se obtienen de forma similar a la empleada anteriormente y los costos de posesión que se obtienen de ellos se derivan se determinan análogamente. El costo total por periodo (CTP) vendrá dado por:

$$CPT = \frac{\text{Costo de Emisión} + \text{Costo de Posesión}}{\text{Número de periodos cubiertos por } Q}$$

- *Ratio Costo de Emisión/Costo de Posesión.* Esta técnica es la misma que la del mínimo costo total, buscándose un lote con el que se iguale al máximo el costo de emisión y el de posesión. Se diferencia en que, para facilitar la comparación, se utilizan las “unidades-período” (UP), es decir el producto del número de unidades por período que permanecen en almacén.

$$UP = \text{Costo de Emisión} / \text{Costo de Posesión}$$

Se elige aquel lote que hace las UP lo más parecidas posible.

- *El Algoritmo de Wagner-Whitin.* Los mencionados autores desarrollan, el algoritmo que lleva su nombre. Basándose en la programación dinámica, y para una serie de condiciones, seleccionan un conjunto de costos que aseguran la minimización de los costos totales de gestión (emisión + posesión) durante el horizonte de planificación. A pesar de su carácter optimizador, esta técnica ha recibido poca aceptación en la práctica.
- *Lote Económico de Pedido (EOQ).* Esta técnica, propia de la gestión de stocks de ítems con demanda independiente, puede también ser empleada en muchos casos, es el modelo más básico y conocido, se denomina el modelo EOQ (*Economic Order Quantity*). El Lote Económico de Pedido, es el tamaño del lote que permite minimizar el total de los costos anuales de hacer pedidos y de manejo de inventario. El planteamiento para hallar el EOQ se basa en los siguientes supuestos (ABDUL-JALBAR B., 2005):

- ❖ La demanda es conocida y constante, a una razón de unidades por unidad de tiempo.
- ❖ La cantidad a pedir puede ser un número no entero, y no hay restricciones sobre su tamaño.
- ❖ Los costos no dependen de la cantidad de reposición, es decir, no hay descuentos dependiendo del tamaño del lote.

- ❖ Los costos no varían con el tiempo. Existe un costo de reposición, por pedido, y un costo de mantenimiento, por unidad mantenida a lo largo de cierta unidad de tiempo.
- ❖ Las reposiciones son instantáneas, es decir, el periodo de reposición es cero.
- ❖ No se permiten roturas.
- ❖ Todo el pedido se entrega al mismo tiempo.
- ❖ El horizonte de planificación es muy largo, es decir, se asume que los parámetros toman el mismo valor durante un largo periodo de tiempo.

(CHAVARRIAGA P., 2008), asegura que lo primero es calcular el costo total de cualquier tamaño de lote Q.

Costo Total = costo de manejo anual + costo anual de hacer pedidos o de preparación.

Costo anual de manejo de inventarios = (inventario del ciclo promedio) * (costo del manejo unitario).

Costo anual de hacer pedidos = (número de pedidos / año) * (costo de hacer pedidos o de preparación).

$$CT(QT) = \frac{QT}{2} * CH + \frac{dm}{QT} * CS$$

Dónde:

CT: Costo total por año

QT: Tamaño del lote en unidades

CH: Costo de mantener una unidad en inventario durante un año, calculado a menudo como proporción del valor del artículo

dm: Demanda anual, en unidades por año

CS: Costo de pedir o preparar un lote, en pesos por lote

Como estos costos son decrecientes y crecientes, respectivamente, el costo mínimo se logra cuando los dos costos son iguales, es decir $CM = CP$:

$$\frac{QT}{2} * CH = \frac{dm}{QT} * CS$$

Despejando Q se tiene:

$$QT = \sqrt{\frac{2 * dm * CS}{CH}}$$

Como el periodo de retardo es cero y la demanda es conocida, es evidente que sólo se debe realizar un pedido cuando el nivel de inventario llega a cero. Un gráfico del nivel de inventario puede verse en la Figura 2.

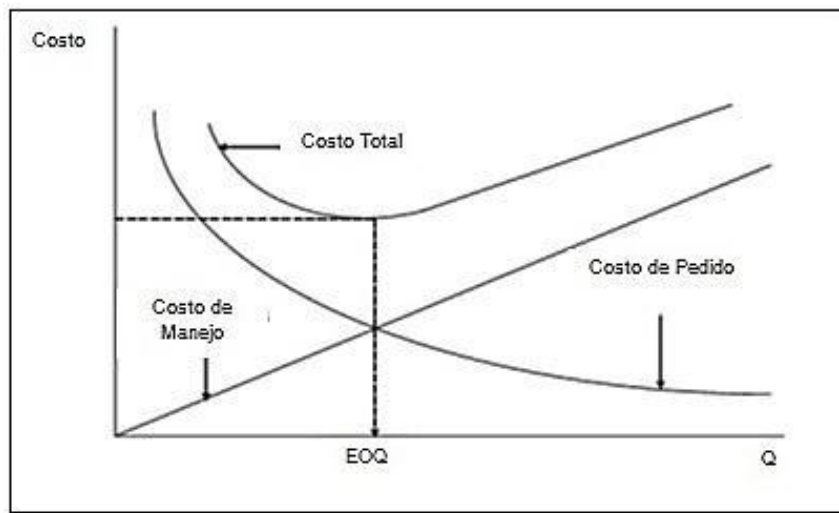


Figura 01. Lote Económico de Pedido EOQ
Fuente: ABDUL- JALBAR B., 2005

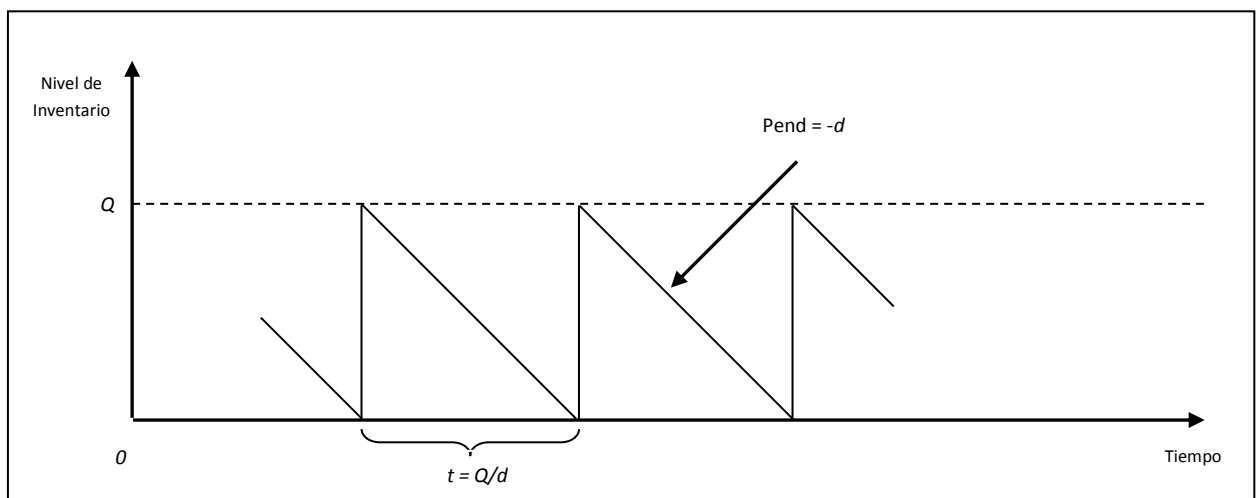


Figura 02. Nivel de inventario en el modelo EOQ
Fuente: ABDUL- JALBAR B., 2005

- *Lote Económico de Producción (EPQ)*. Una extensión natural del Modelo EOQ es el modelo EPQ (*Economic Production Quantity*). En el modelo EOQ, se presume que toda la cantidad pedida llega al mismo tiempo, esta hipótesis no es a menudo verídica, frecuentemente, los artículos se producen y se adicionan al inventario gradualmente.

El modelo del Lote Económico de Producción (EPQ) modifica el Modelo EOQ e introduce este cambio, en el modelo EPQ el stock se produce a una razón infinita de P unidades por unidad de tiempo, donde $P > d$. Entonces el diagrama de la Figura 2 cambia a uno como el de la Figura 3.

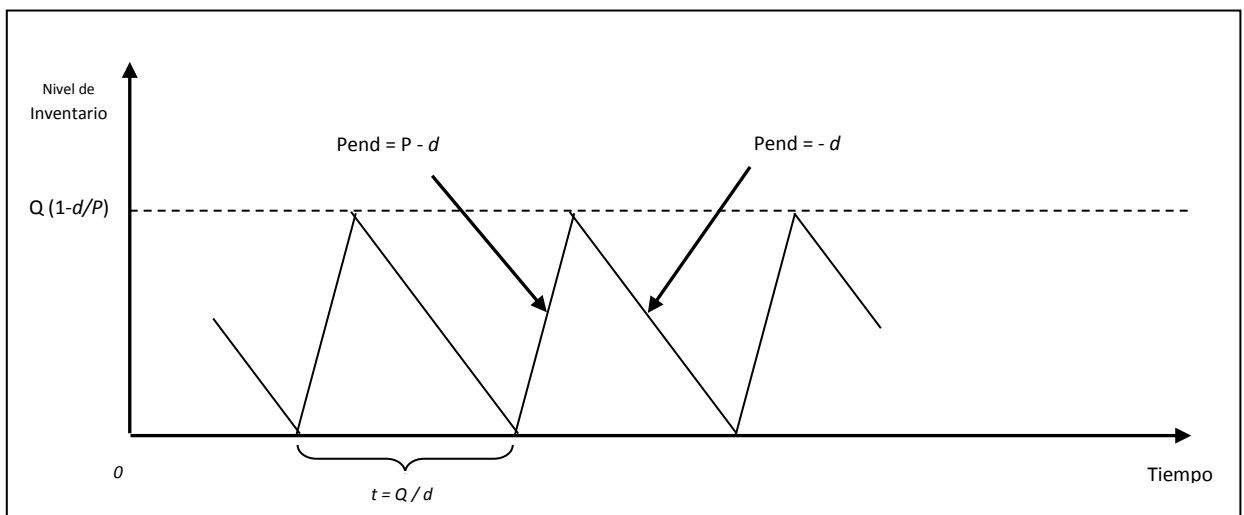


Figura 03. Nivel de inventario en el modelo EPQ
Fuente: ABDUL- JALBAR B., 2005

Para el costo total para en el modelo EOQ, se tendría:

$$CT(QT) = \frac{QT * (1 - dm/CP)}{2} * CH + \frac{dm}{QT} * CS$$

Procediendo como con el Modelo EOQ, se obtiene el tamaño de lote óptimo que representa el Lote Económico de Producción (EPQ).

$$QT = \sqrt{\frac{2 * dm * CS}{CH * (1 - dm / P)}}$$

Por medio del análisis de la bibliografía existente acerca de la definición del tamaño de lote de producción, se ha podido validar que existen una serie de factores los cuales no son cubiertos por la literatura existente.

Entre los aspectos que se pudo identificar se puede mencionar que no se hace alusión al efecto que puede generar en el tamaño de lote la utilización de diferentes proveedores de un tipo de materia prima en particular puesto que en muchas ocasiones para cumplir con una orden de producción es necesario recurrir a diferentes proveedores puesto que uno solo no está en la capacidad de abastecer ese requerimiento. Asimismo no se considera el efecto de la utilización de materias primas con diferentes condiciones de fabricación y su efecto dentro de problemas de calidad lo que a su vez conlleva a un proceso de recolección de productos del mercado, factor inherente dentro de nuestra investigación puesto que se desea relacionar el tamaño de lote con aspectos de la trazabilidad.

Dentro del caso de múltiples proveedores de un mismo tipo de materia prima se puede mencionar que no todos los distribuidores manejan los mismos costos así que habrá una incidencia en el aspecto económico de la definición del tamaño de lote.

5.3 Trazabilidad

5.3.1 Definición de Trazabilidad

La trazabilidad se define como "la capacidad de conservar y acceder a la identidad y atributos de los objetos de una cadena de abastecimiento física" (TÖYRYLÄ, 1999), del mismo modo las directrices de la norma NTC-ISO 9000 definen la trazabilidad como la "posibilidad de rastrear la historia, aplicación o localización de aquello que está bajo consideración"³.

Las directrices de la NTC-ISO precisan además que la trazabilidad puede referirse al origen de los materiales y partes, la historia de procesamiento y la distribución y ubicación del producto después de la entrega. Un sistema para el seguimiento de cada entrada y del proceso con un grado de precisión adecuado para cada objetivo sería prácticamente imposible.

³ ICONTEC. Óp. cit., p. 13.

5.3.2 Características de la Trazabilidad

Cada vez más, la capacidad de rastrear materiales y productos en ambas direcciones de la cadena de abastecimiento constituye una parte integral de las actividades comerciales. Uno de los usos tradicionales ha sido la identificación y localización de productos alimenticios (productos frescos, carne, vino, etc.) y farmacéuticos que no son seguros y su remoción del mercado. Posteriormente, los sistemas de rastreo y seguimiento se han utilizado para validar la existencia o ausencia de atributos importantes para los consumidores (por ejemplo: alimentos orgánicos, productos cosméticos hipoalergénicos)

La trazabilidad también se ha convertido en una herramienta en la lucha contra los productos falsificados y en la protección de marcas. Puede servir además para evaluar otros sistemas y herramientas comerciales como: gestión de calidad, gestión de riesgos, administración de información, flujos logísticos, ventaja comercial, evaluación de demandas administrativas.

El procedimiento o sistema de trazabilidad que se adopte dentro de cada empresa deberá tener en cuenta (Agencia, 2004):

- La identificación del producto, es decir, un medio único, lo más sencillo posible, para identificar un producto o agrupación de productos.
- Los datos del producto, es decir:
 - ❖ Las materias primas, partes constituyentes del producto o mercancías que entran en cada empresa.
 - ❖ La manera en que fue manejado, producido, transformado y presentado, en caso de existir tales procesos.
 - ❖ Su procedencia y destino, así como las fechas de ambos (una etapa antes y una etapa después).
 - ❖ Los controles de que ha sido objeto, en su caso, y sus resultados.
- La relación entre la identificación del producto y los datos sobre el mismo. El seguimiento del movimiento de un producto (trazabilidad) va ligado a información comercial y de procesos internos y autocontroles.

5.3.3 Factores de Desempeño de un Sistema de Trazabilidad

(GOLAN, et al., 2004), afirma que los sistemas de la Trazabilidad son definidos por la amplitud, la profundidad, y la precisión de la información acumulada.

De acuerdo a (MELLADO, 2009) los objetivos corporativos tienen gran incidencia en los factores de desempeño y las características de un sistema de trazabilidad además brindo una explicación al detalle de cada factor a la cual se hará mención a continuación.

- *Amplitud.* La Amplitud describe la cantidad de información que registra el sistema de trazabilidad. Existe una gran cantidad de atributos que se pueden conocer de los productos o alimentos que consumimos y tener un sistema que pueda catalogarlos sería demasiado grande, innecesario y costoso. Cabe anotar que un sistema de trazabilidad de un atributo no requiere recopilar información sobre otros atributos.
- *Profundidad.* La Profundidad de un sistema de trazabilidad es hasta qué punto retrocede o avanza a través del sistema. En muchos casos, la profundidad de un sistema es determinada en gran medida por su amplitud: una vez que la empresa o el regulador ha decidido qué atributos va a seguir, se determina esencialmente la profundidad del sistema. En otros casos, la profundidad del sistema se determina por la calidad o puntos de control de seguridad a lo largo de la cadena de suministro. Por ejemplo, el sistema de trazabilidad en una empresa para el control de un único patógeno puede necesitar extenderse a los últimos pasos donde el producto fue tratado, cocido, o irradiado.
- *Precisión.* La Precisión refleja el grado de seguridad con el que el sistema de rastreo puede establecer de forma clara un movimiento en particular o las características de un producto alimenticio. La precisión es determinada por la unidad de análisis utilizada en el sistema y la tasa de error aceptable. La unidad de análisis, ya sea contenedor, camión, cajón día de producción, por turnos, o cualquier otra unidad, es la unidad de seguimiento para el sistema de trazabilidad. Los sistemas que tienen el seguimiento de las unidades grandes, como un corral de engorde o un silo de grano entero, tendrán una precisión pobre en el aislamiento de seguridad o problemas de calidad. Los sistemas con unidades más pequeñas, como las vacas individuales, tendrán una mayor precisión. Del mismo modo, los sistemas con un bajo índice de error aceptable, son más precisos que los sistemas con altas tasas de error aceptable. En algunos casos, los

objetivos del sistema requerirán un sistema preciso, mientras que para otros objetivos un sistema menos preciso será suficiente.

La amplitud, profundidad y precisión de los sistemas de trazabilidad variarán en función de los objetivos de los sistemas y las ventajas correspondientes y de los costos para la empresa. Las empresas recogen información sobre un atributo y se sigue su flujo a través de la cadena de suministro sólo si los beneficios netos (utilidad menos costos) de hacerlo son positivos. Del mismo modo, ellos invierten en precisión sólo si los beneficios superan los costos. Debido a que las empresas deben equilibrar los costos y beneficios de la trazabilidad, tienden a asignar eficientemente los recursos para construir y mantener estos sistemas.

5.3.4 Principios de la Trazabilidad

(AGUDELO, 2005), asevera que el proceso de trazabilidad consiste en la implementación de cuatro principios claves: Identificación única, Administración de Enlaces, Captura y registro de datos y Comunicación de la información.

- *Identificación Única.* Este identificador único es la llave que permite acceder a todos los datos disponibles acerca de la historia del producto, aplicación o ubicación, lo anterior implica que la información de trazabilidad debe estar relacionada con monitorear cada lote de producción, cada unidad logística o cada unidad individual de producto.

Para desplegar y complementar el tema de Identificación única es preciso mencionar algunas de las técnicas existentes para la identificación (JACQUEMENT, 2002).

- ❖ Etiquetado. Varias técnicas pueden usarse para etiquetar productos como:
 - Inyección de tinta o láser marcadores de números de lote, las limitaciones de tiempo o en el mejor antes de fechas de los artículos de consumo. Las etiquetas de datos de apoyo pueden o no contener un código de barras.
- ❖ Identificación o captura automática. El sistema de identificación automática se puede definir como un sistema de captura de datos que utiliza medios que no sea manual o el teclado base. Acelera el proceso de captura de datos y hace que sea

posible para evitar el error humano y obtener información en tiempo real. Hay varios sistemas de identificación automática de la existencia:

- Reconocimiento óptico de caracteres: los personajes se convierten en datos digitales.
- Visión Robótica.
- Tarjetas con chip.
- La biometría (huellas dactilares, el iris, la genética y voz) como los sistemas de reconocimiento de voz: información vocal es escaneada y convertida en datos digitales.
- Sistemas de códigos de barras: Un código de barras es un arreglo preciso de las líneas paralelas (barras) y espacios de ancho variable que representa los datos. Un escáner lee la imagen. El software de digitalización vinculado a una base de datos de análisis de datos. Una multitud de información por lo tanto se puede asociar a las entidades designadas. Los diferentes tipos de códigos (código UPC, código 128, etc.) fueron desarrolladas para satisfacer necesidades particulares. Más de 300 tipos de códigos de las cuales, sólo una veintena de están en uso. Instituciones como la *UCC*⁴ y la *EAN Association*⁵ están trabajando para armonizar los códigos con el fin de ayudar a establecer una red que contiene los datos que pueden ser leídos en todo el mundo gracias a los bancos de datos compatibles y los códigos complementarios.
- Sistemas de Identificación por Radio Frecuencia (*RFID*): Esta tecnología hace posible escribir o de acceso a datos almacenados en un chip electrónico mientras que la comunicación de datos entre el chip y el lector se puede iniciar desde una distancia gracias a las ondas de radio. La tecnología finalmente se normalizará y el uso de un código planetario de manera que cada usuario puede beneficiarse de las ventajas y la información. Los costos podrían ser distribuidos en toda la vida útil del producto.

Con el fin de poder utilizar estos sistemas de identificación automática, la empresa debe invertir en material de escritura (como impresoras de código de barras...) y equipos de lectura (por ejemplo, lectores de las etiquetas de radiofrecuencia).

⁴ *UCC, Uniform Code Council* se refiere al Consejo de Códigos Únicos.

⁵ *EAN, European Article Numbering Association* se refiere a la Asociación Europea de Numeración de Artículos, en 2005 UCC y EAN se unieron para crear GS1.

- *Administración de Enlaces.* Es importante que los enlaces entre los lotes de producción y las unidades logísticas resultantes del proceso, sean registrados. La trazabilidad implica registrar los enlaces sucesivos entre los lotes de producción y las unidades logísticas en la cadena de abastecimiento. Si uno de los eslabones de la cadena de abastecimiento falla en la administración de dichos enlaces, la situación resultante se conoce como una ruptura o una pérdida de trazabilidad en la cadena.
- *Información A Capturar Y Registrar.* Al igual que los enlaces, existen algunos datos predeterminados que deben ser trazados durante el proceso. Estos datos se deben ligar al lote de producción/unidad logística. La administración de la trazabilidad implica que la información predefinida sea registrada durante el proceso de manufactura y a través de toda la cadena de abastecimiento.

La trazabilidad requiere predefinir los datos que van a ser capturados y registrados a través de la cadena de abastecimiento. Es importante tener presente la información a trazar, tal como el SSCC⁶, ya que está se debe compartir entre socios y / o almacenar en donde se crea pertinente. Para compañías más pequeñas con volúmenes de venta más bajos y procesos de negocio menos complejos, la información se puede almacenar en forma manual, utilizando herramientas tradicionales como archivos y carpetas. Esta puede ser una solución viable y funcional. No obstante, para compañías grandes y pequeñas, se recomienda implementar tecnología por medio de Captura Automática de Información (CAI). En cada paso en la cadena de abastecimiento, los códigos de barras pueden ser escaneados y la información a trazar puede ser almacenada y procesada en tiempo real por aplicaciones de software.

Utilizando la identificación automática y la captura de información única a nivel global, es posible lograr el grado más alto de certeza y velocidad en los datos que se registran, se almacenan y se recuperan a través de la cadena de abastecimiento. Hay muchos tipos de códigos y simbologías pero hay sólo un estándar global y abierto el Sistema EAN.UCC (PRIETO FRANZOY, 2005), las aplicaciones del estándar EAN.UCC⁷ son:

❖ Códigos de barras EAN / UPC

⁶ *Serial Shipping Container Code* Identifica de manera única unidades logísticas.

⁷ Más de 1.000.000 de empresas utilizan el estándar EAN.UCC. EAN International tiene Organizaciones Miembro (MO's) en cerca de 130 países. Para mayor información visite www.ean-int.org.

❖ Código de Barra UCC / EAN-128⁸

La Identificación por Radiofrecuencia (*RFID*) es una tecnología en crecimiento que utiliza etiquetas electrónicas para identificar los productos (unidades de comercialización), las estibas (unidades logísticas) y/o los activos retornables a través de la cadena de abastecimiento. Recientes desarrollos de estandarización de *EAN.UCC* en el campo de *RFID* se conocen internacionalmente como la red de Código Electrónico de Producto o *EPC (Electronic Product Code)*⁹.

- *Comunicación de la Información.* Una característica esencial de cualquier sistema de trazabilidad es la transferencia de información. La trazabilidad requiere asociar el flujo físico de producto con el flujo de información respectivo.

Para asegurar la continuidad en el flujo de información, cada actor de la cadena de abastecimiento debe comunicar uno a uno, la información de trazabilidad, permitiendo al último en la cadena aplicar los principios ya mencionados. Esto se puede lograr por medios tradicionales como la remisión, en combinación con las identificaciones, por ejemplo la etiqueta logística UCC / EAN128.

La tecnología con mayor utilización en el mercado es el Intercambio Electrónico de Documentos (*EDI*) donde la certeza y la velocidad son apreciadas como variables importantes y convenientes para la compañía, dependiendo de su tamaño, volumen de ventas y la complejidad de su negocio.

5.3.5 Direcciones de la Trazabilidad

Los procesos de trazabilidad pueden ser apreciados en dos direcciones: seguimiento o trazabilidad hacia delante y rastreo o trazabilidad hacia atrás. Estas dos direcciones tienen que ver con tres flujos: Flujo hacia Arriba (*Upstream*), Flujo Interno y Flujo hacia Abajo (*Downstream*). El flujo hacia Arriba y hacia Abajo puede percibirse de manera diferente dependiendo de la posición del operador en la cadena de abastecimiento (Europe, S.F.).

⁸ Simbología que permite incluir información variable a la identificación del producto, por medio de identificadores de aplicación.

⁹ EAN Internacional y UCC han establecido EPC Global Inc., una organización sin ánimo de lucro que desarrollará y supervisará la comercialización y los estándares técnicos de la red del código electrónico de producto (EPC).

- *Rastreo (Tracking)*. Es la capacidad de localizar un producto con base en un criterio específico donde sea que esté, en cada punto de la cadena de abastecimiento. Esta es una capacidad crítica de cualquier sistema de trazabilidad porque las compañías deben poder identificar y localizar sus productos dentro de la cadena de abastecimiento con el fin de efectuar el “recall”¹⁰ del mercado cuando sea necesario.
- *Trazado (Tracing)*. Es la capacidad de identificar el origen y las características de un producto con base en un criterio determinado en cada punto de la cadena de abastecimiento. Esta es una capacidad crítica de los sistemas de trazabilidad porque las compañías deben estar en capacidad de determinar la identidad y fuente de los productos recibidos de una manera precisa y rápida cuando sea necesario.
- *Flujo Interno*. Esta área cubre cada paso bajo el control del operador, es fundamental que esté vinculado al área de Arriba y Abajo.
- *Flujo Hacia Arriba o Atrás (Upstream)*. El flujo hacia arriba cubre la primera parte de la cadena de abastecimiento. Incluye a los productores de materias primas, ingredientes, empaques y todos los proveedores intermedios hasta que el bien alcanza al consumidor.

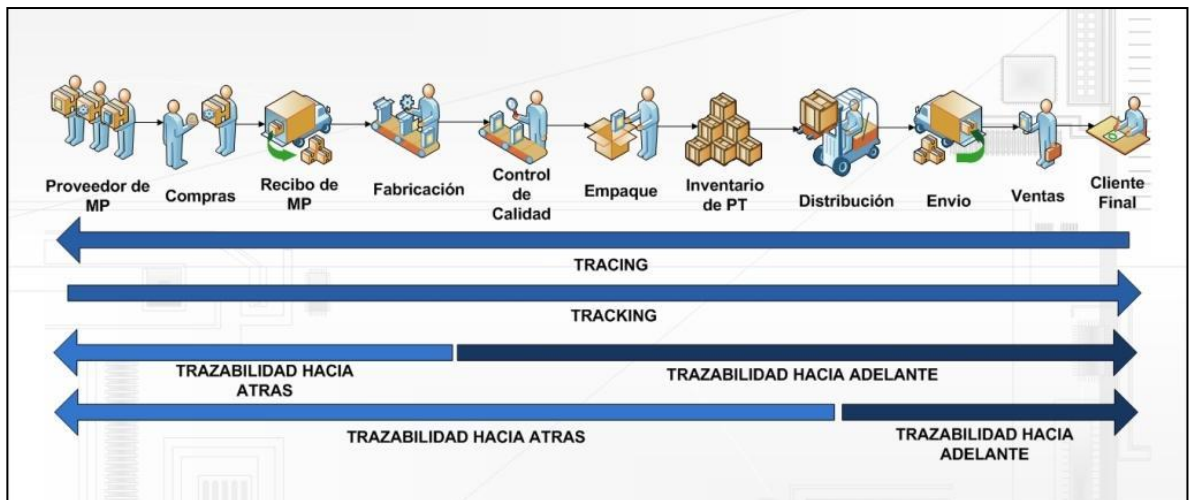


Figura 04. Direcciones de la Trazabilidad
Fuente: (IAC Colombia, 2005)¹¹

¹⁰ Recall hace referencia a retirar productos del mercado.

¹¹ En 2005, IAC Colombia asume el nombre de GS1 Colombia, siguiendo las directrices de la organización a nivel mundial. Tomado de

- *Flujo Hacia Abajo o Adelante (Downstream)*. El flujo hacia abajo cubre la parte final de la cadena de abastecimiento. Comienza al finalizar el proceso de manufactura, incluyendo el empaque, los proveedores de servicios logísticos, centros de distribución y termina en el punto de venta del minorista.

5.3.6 Listas de Materiales y Gráficas de Gozinto

(LOOS, 2001) define las Gráficas de Gozinto como representaciones gráficas de la estructura de producción de fabricación industrial, estas describen las relaciones cuantitativas de materias primas, productos intermedios, y productos terminados, de la misma forma (VAN DORP, 2003) las describe como una representación gráfica semejante a un árbol de materias primas, partes, productos intermedios y sub-ensambles, en la que un proceso de producción particular las transforma en un producto final a través de una secuencia de (producción) operaciones.

HOFSTEDE citado por (VAN DORP, et al., S.F.) define un modelo de datos como una representación coherente de objetos de una parte de la realidad. Un modelo de datos consta de tipos de entidades y tipos de relaciones. Los tipos de entidades de lotes y/o listas de lotes y/o grupos, y sus tipos de relaciones, se explican a continuación.

Se define que los procesos de producción pueden ser vistos como una secuencia de operaciones que transforma una lista de materias primas, partes, medios y sub-ensambles dentro de un producto terminado específico. La programación maestra de la producción desencadena la planificación de requerimientos de material (cuando y para que materiales, producción y órdenes de compra a ser liberadas). Los materiales, usados para producir cierto artículo terminado, son contenidos en lotes. Los lotes pueden contener materiales de producción o materiales comprados. Es importante registrar que lotes realizan una contribución a la composición de cierto lote de producto terminado¹².

Los lotes consumidos en producción deben ser seguidos a través del proceso de productivo en orden para ser capaz de determinar la composición del producto terminado descendente a sus partes constituyentes. Por lo tanto es necesario que cada patrón de ensamble mantenga las relaciones de trazabilidad con sus sub-ensambles. Registrando las relaciones entre materiales de lotes sub-ordinados y súper-ordinados, se obtiene un método para trazar la composición del artículo final. Cuando la secuencia entera de

http://camara.ccb.org.co/documentos/2049_Estandares_para_el_Comercio_Electronico.pdf

¹² VAN DORP, et al., Óp. cit., p. 4.

actividades requerida para fabricar un cierto artículo adhiere su registro de relaciones, una lista de lotes multinivel puede ser recolectada. Las listas de lotes entonces contienen la información necesaria para determinar:

- La composición de un producto terminado fuera de los lotes de componentes y
- Todos los productos terminados habiendo consumido un lote de componentes de interés específico.

SCHEER, 1998; BERTRAND et al., referidos por VAN DORP, et al., en *“Gozinto Graphs for Tracking and Tracing: an Approach for Information Systems”* especifican la lista de materiales como una lista de componentes requeridos para la producción de un artículo patrón. Más específico, representa un conjunto de patrón-componente donde cada relación es una entidad en sí, con atributos tales como: identificación de artículos patrones, identificación de artículos componentes, fecha de comienzo efectiva (la fecha en que la relación fue activada), cantidad de componentes, factor de rendimiento/desperdicio (la tasa de salida usada desde un proceso a su entrada), etc.

La figura 05 visualiza una lista de materiales, además visualiza el grafico de Gozinto asociado.

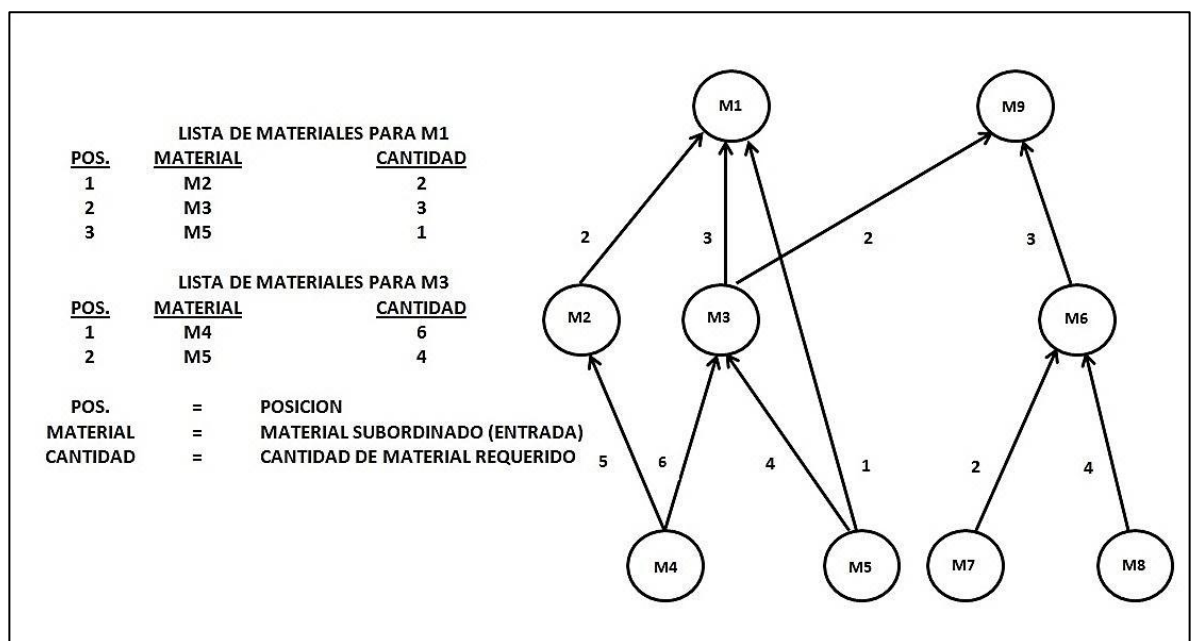


Figura 05. Lista de materiales y Grafico de Gozinto asociado.

Fuente: LOOS, 2001

Las listas de lotes de nivel múltiple se diseñan de forma equivalente a las listas de materiales multinivel y registran cada relación entre una entidad sub-ordinada y una entidad súper-ordinada.

5.3.7 Dispersión del Proceso de Lotes

Entre las características de los modelos de definición del tamaño de lote de producción enumerados con antelación se pudo identificar unos aspectos importantes como son el número de niveles y el número de productos, por medio de investigaciones llevadas a cabo sobre estos se definieron elementos como las listas de materiales y las Gráficas de Gozinto comentadas con anterioridad es posible integrar a nuestro estudio un concepto denominado Dispersión de Lotes.

- *Definición de dispersión del lote.* DUPUY, BOTTA-GENOULAZ, y GUINET detallados por (DUPUY, et al., 2005) comentan que con el fin de evaluar la exactitud de la trazabilidad en el proceso de producción, se introducen nuevas medidas como son: la dispersión descendente, la dispersión ascendente y la dispersión por lotes. La dispersión descendente de un lote de materia prima es el número de lotes de producto terminado que contengan partes de este lote de materia prima. La dispersión ascendente de un lote de producto terminado es el número de diferentes lotes de materia prima utilizadas para producir este lote. Por último, la dispersión de proceso por lotes de un sistema es igual a la suma de todas las materias primas de la dispersión descendente y de todos los productos terminados de la dispersión ascendente.

$$\text{Dispersión del Lote de Producción} = \sum_{k \in MP} \sum_{i \in LOT} YI_{ik}$$

Ahora se comentara como la trazabilidad se maneja dentro de las listas de materias y los gráficos de gozinto. Se puede comentar que pueden existir diferentes razones en cuanto a qué materiales se agrupan o se separan. Por ejemplo, cuando se desean grandes cantidades dentro de la operación y en el funcionamiento y muchos de estos materiales se consideran de calidad similar, se pueden almacenar juntos. Los lotes de materiales se juntan para formar un lote más grande. También en la producción, los grupos y lotes de materiales se mezclan dentro de unidades de capacidad y se ordenan las operaciones en serie en una ruta. Sin embargo independientemente de la razón de reunir, la trazabilidad de los lotes de materiales debe ser mantenida. Por lo tanto, a los

lotes creados debe ser asignada nuevamente la identificación única y las relaciones creadas sobre lotes de materiales juntos, deben ser registradas¹³.

Además de reunir los lotes de materiales, no obstante las organizaciones también pueden separar los lotes de materiales por ciertas razones. Al almacenar se puede compartir un lote de material por ejemplo, en la situación en que una de parte del material ha llegado dañada y la composición del lote no es uniforme. La separación del material tiene lugar y a los lotes separados se les asigna la identificación única. Tal lote está entonces dividido dentro de dos lotes: un lote con el material dañado y un lote con el material intacto. Considerando la anterior situación, el estudio de las listas de lote multinivel es extremadamente importante para manejar materiales. Afortunadamente, la estructura de las listas de lotes multinivel es capaz de registrar todas las relaciones necesarias para guardar lotes de materiales localizables reunidos y divididos.

La estructura de datos de la lista de lotes de nivel múltiple se representa en la Figura 06 y consiste en dos tipos de entidades (lote y relación) y dos tipos de relaciones (implosión y explosión). Cada entidad lote guarda la identificación de lote única y asocia los datos-atributos (por ejemplo, identificación del artículo, descripción, unidad de medida, la cantidad original, la cantidad que queda, tipo de orden, etc.), mientras cada entidad de relación almacena la identificación de relación única y asocia los datos o atributos (por ejemplo, fecha de inicio actual [la fecha la relación está actualmente activa], la cantidad actual de material consumido, el factor actual de rendimiento/desperdicio, etc.). Para la última entidad de relación sostiene que la combinación de identificación de lotes sub-ordinados y súper-ordinados es única. Los dos tipos de relación son posteriormente usadas en analizar las relaciones donde/desde (*Tracing*) y las relaciones entre los lotes de materiales (respectivamente trazabilidad hacia atrás y hacia adelante). Una representación gráfica de una explosión de lotes de materiales se representa en la Figura 6.

¹³ VAN DORP, et al., Óp. cit., p. 5.

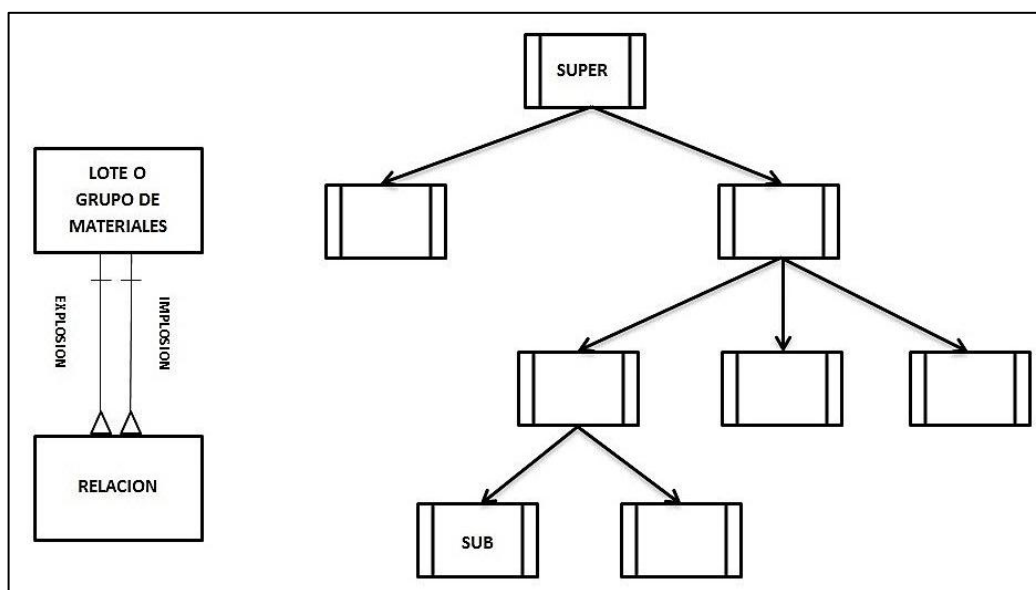


Figura 06. Lista de lotes multinivel y la explosión de lotes de materiales.
Fuente: LOOS, 2001

5.3.8 Costos de la Trazabilidad

La implementación de un sistema de trazabilidad puede representar altos costos iniciales dependiendo de la opción seleccionada por la compañía, los costos incluyen¹⁴:

- ❖ El entrenamiento del personal.
- ❖ El trabajo de los empleados en la implementación y mantenimiento del sistema.
- ❖ El trabajo de recoger la información, la administración y control de documentos que puede ser importantes dependiendo de la compañía y su sector de actividad.
- ❖ La reorganización de la producción.
- ❖ La implementación de nuevos sistemas automatizados y computarizados.

Para el presente trabajo solo se tomarán en cuenta los costos que se generan posteriores a la etapa de implementación de la trazabilidad debido a que no se está analizando la factibilidad de la implementación de la herramienta sino el tamaño de lote de producción ajustado por los costos de utilizar y mantener la Trazabilidad, por lo que los costos que se van a manejar son los costos de retirar productos del mercado¹⁵, los costos del

¹⁴ JACQUEMENT. Óp. cit., p. 12.

¹⁵ Tomado de <http://www.gs1pa.org/boletin/2005/marzo/boletin-mar05-art1.html>.

mantenimiento de registros en el sistema y los costos de la diferenciación de los productos¹⁶.

- *Costos de Retirar Productos del Mercado.* La trazabilidad permite ciertos beneficios como es proteger la seguridad de los alimentos junto a una eficaz retirada de productos del mercado, la retirada de productos del mercado es una preocupación creciente para los productores de alimentos y agencias gubernamentales por lo que se pretende poseer un nivel adecuado de eficacia dentro del sistema igualmente de generar artículos con alto grado de inocuidad. Para ello se aspira comenzar a trabajar aspectos de trazabilidad desde la generación del tamaño de lote de producción.

El objetivo de las compañías es reducir al mínimo el costo debido a una crisis de seguridad alimentaria. Si el problema de seguridad alimentaria proviene de un lote de materia prima, la empresa identificará y retirará todos los productos que contengan la materia prima a través del *Tracing*. Si se trata de un producto terminado, la empresa identificará los lotes de materia prima y retirará todos los productos terminados que contengan la materia prima por medio del *Tracking*.

A este respecto, la Agencia Española de Seguridad Alimentaria ha determinado que, partiendo de los únicos requisitos exigidos por el artículo 18 del reglamento 178/2002 (resumidos en la responsabilidad de los operadores económicos de activar sistemas y procedimientos que permitan poner a disposición de las autoridades información veraz sobre las características inherentes a los productos, su procedencia y su destino), cada empresa debe decidir, por cuenta propia y en consenso con sus proveedores, el nivel de riesgo que está dispuesta a asumir, para en base a ello acordar los medios a emplear (automáticos o manuales), la unidad logística (palés) o comercial (cajas, etc.) a rastrear (lo que se conoce como agrupaciones) y la cobertura de sus mecanismos de trazabilidad (número de etapas que abarcan a lo largo de la cadena de aprovisionamiento o grado de detalle con el que se describe cada fase), responsabilizándose en último término de las consecuencias que pueda ocasionar la inoperatividad del sistema ante una posible demanda informativa por parte de la Administración.

Ello teniendo en cuenta que cuanto más acotadas se encuentren las agrupaciones (producción horario, diario o semanal, línea de producción, parcela, etc.), menores

¹⁶ GOLAN. et al., Óp. cit., p.8.

serán las unidades de producto a retirar del mercado en caso de contaminación, y que a mayor cobertura, mayor será el margen para activar medidas preventivas, detener la distribución de los alimentos alterados o modificar su composición antes de que lleguen al consumidor. Igualmente, depende de cada entidad y de los acuerdos alcanzados con sus socios determinar el tiempo de conservación de los registros, en función de la vida útil de los productos.

- *Costos de Mantenimiento de Registro.* Los costos de mantenimiento de registros son los ocasionados en la recogida y mantenimiento de información sobre los atributos del producto a medida que avanzan a través de la producción y canales de distribución. En algunos casos, el sistema de registros necesarios para la trazabilidad es muy parecido a ése mantenido ya por la firma para la contabilidad u otros propósitos. Por ejemplo, en los Estados Unidos, la mayoría de las empresas de mantienen los registros de sus recibos y facturas. Para estas empresas, la Trazabilidad para adelante o para atrás para un sistema estándar de atributos requeriría eventualmente cambiar muy poco el plan contable de la empresa. En otros casos, los nuevos objetivos de la trazabilidad pueden requerir adiciones costosas a los sistemas existentes del mantenimiento de registros.
- *Costos de Diferenciación de Productos.* Los costos de diferenciación de productos son los derivados del mantenimiento de los productos o conjuntos de atributos del producto por separado el uno del otro con fines de seguimiento. La diferenciación del producto para el rastreo se consigue principalmente al romper el flujo del producto en lotes o cualquier otra unidad discreta definida sobre un conjunto de procesos o atributos comunes de contenido. Cuando los requisitos de trazabilidad cabida a muchos tamaños basados en la producción como la cantidad de la producción de un turno o el producto de un campo, la diferenciación de los costos de trazabilidad son mínimas.

El nivel de precisión también afecta al tipo y costo de la diferenciación de productos. Los sistemas que requieren un alto grado de precisión también tienden a exigir rigurosos sistemas de separación de cultivos o productos. Hay dos enfoques principales para la separación de atributos:

- ❖ *Sistema de Segregación.* Un sistema de Segregación separa un cultivo o lote de ingredientes alimentarios de los demás. A pesar que la segregación implica que los

cultivos y productos específicos se mantienen separados, los sistemas de separación no suele dar lugar a un alto nivel de precisión. En los Estados Unidos, el maíz blanco se canaliza a través de la infraestructura de los productos básicos a granel, pero se segrega de otros tipos de maíz, lo que implica un mayor detalle en el proceso de registro de información dentro del sistema de Trazabilidad para así reconocer perfectamente la procedencia de las materias primas y con el objetivo de ser efectivos frente a cualquier eventualidad.

- ❖ Sistema de Preservación de la Identidad (IP). Un sistema de Preservación De La Identidad (IP) identifica la fuente y / o la naturaleza del cultivo o del lote de los ingredientes alimentarios. Los sistemas de propiedad intelectual IP son más estrictos que los sistemas de segregación y requieren a menudo la puesta en contenedores u otras barreras físicas para garantizar que ciertos rasgos o cualidades se mantienen en toda la cadena alimentaria.

La distinción entre "propiedad intelectual" y "separación" es a menudo imprecisa y un sistema de segregación estricto puede ser más preciso que un sistema de propiedad intelectual flojo. Sin importar la terminología exacta, precisar los sistemas que requieren que los productos estén separados terminantemente serán probablemente más caros que otros, porque estos sistemas son generalmente más costosos de desarrollar y mantener que los sistemas flojos.

El nivel de precisión del sistema de trazabilidad también puede influir en los costos de mantenimiento de registros. Los costos de mantenimiento de registros tienden a aumentar con el tamaño de los lotes más pequeños. Cinco toneladas de la producción dividida en lotes de 5 toneladas requieren menos papeleo que la misma cantidad dividida en lotes de 1.000 libras. Además, los expedientes de contabilidad necesarios para mantener un sistema de trazabilidad altamente preciso tienden a requerir mayores detalles y costos que aquellos sistemas menos exigentes. Productos que se someten a un gran número de transformaciones en su camino al mercado generan una gran cantidad de información nueva y suelen ser más difíciles de rastrear que los productos con escasa elaboración. Los productos alimenticios pueden variar considerablemente con respecto al número de controladores y los fabricantes y grado de mezcla y procesamiento.

Los productos que se compran y venden en numerosas ocasiones también tienden a generar mayores costos de contabilidad y diferenciación que los costos que permanecen dentro de la misma empresa.

6. DEFINICIÓN DEL TAMAÑO DE LOTE DE PRODUCCIÓN Y TRAZABILIDAD

Ahora se realizara un análisis más profundo con respecto a los conceptos y los sistemas clásicos de planeación y control de la producción para la definición del tamaño de lote de producción, abarcando las técnicas más sencillas a unas con mayor complejidad, de igual forma se ahondara en las técnicas y metodologías que posean mayor afinidad al manejo de la Trazabilidad y la afinidad que puede presentar con respecto a las metodologías de producción.

Para dar desarrollo a los propósitos de este trabajo se realizaran los análisis de los conceptos y tipos de sistemas de producción, el manejo de inventarios y la influencia que en estos genera el manejo de Trazabilidad, además se fundamenta la forma en que la implementación de una herramienta como esta incide en teorías y actividades que se han manejado a través del tiempo.

6.1 Características de la Trazabilidad en los Procesos de Producción

Cuando se habla de sistemas de producción es posible fraccionar los procesos de acuerdo a la reiteración de las actividades que se realizan, debido a la periodicidad con que se fabrican, o al grado de personalización que estos tengan, dichos aspectos aprueban en cierto modo a identificar a los sistemas de fabricación como repetitivos o no (WHITE, et al., 2001). En cierto modo es posible relacionar los tipos de proceso existente como son los de proyecto o de producción intermitente con los sistemas no repetitivos y a los tipos de procesos por lotes, en línea y continuo como repetitivos.

Es usual que en los procesos de producción no repetitivos, entre los que se puede mencionar los proyectos, el proceso de producción intermitente o el mencionado *Job Shop*, se tenga la capacidad de producir una gran variedad de productos, sin embargo la aparición de producto en proceso indica que existe ineficiencia entre las actividades. A diferencia de los no repetitivos los procesos de producción repetitivos, como son las líneas de ensamble o procesos de flujo continuo, son propiamente eficientes, sin embargo carecen de flexibilidad para producir una variedad de productos. Mayores características adicionales acerca de estos sistemas pueden ser observados en la Tabla 1.

Esto no es un impedimento para que los procesos de producción no repetitivos no sean puedan implementar Trazabilidad, pero sería más complicado su cometido ya que se debería realizar un número mayor de procesos y registros en el sistema pues como se

mencionó anteriormente cada proceso sería único en su tipo, lo cual acrecentaría su complejidad y su costo de mantenimiento, por lo que necesitaría la implementación de sistemas adicionales para que sus resultados sean viables.

Características	Procesos de Producción	
	No Repetitivos	Repetitivos
Variedad de Productos	Personalizados	Estandarizados
Requerimientos de Material	Difícil de predecir	Muy predecible
Programación	Incierta, cambios frecuentes	Programación fija, inflexible
Corrida de Producción	Corto	Largo
Configuraciones	Diferentes en cada trabajo	Muy pocas y costosas
Tipo de equipo utilizado	Propósito general	Propósito especial
Alcance del trabajador	Largo	Corto
Nivel de destrezas del trabajador	Alta	Baja
Control sobre proveedores	Bajo	Alto
Niveles de inventario		
Insumos	Bajo	Alto
Producto en proceso	Alto	Bajo
Producto terminado	Bajo	Alto

Tabla 01. Características de los Procesos de Producción

Fuente: WHITE, et al., 2001

Los procesos de fabricación repetitivos, en línea o continuos son los que por sus características se adecuan mejor para la implementación de una herramienta avanzada como lo es la Trazabilidad, debido que los niveles de inventario se centran en los insumos y en producto terminado, lo cual permite identificar a lo largo del proceso de producción cada movimiento con mayor facilidad, al mismo tiempo reconociendo cada uno de los atributos establecidos, igualmente debido a la estandarización de productos se facilita el registro de información en el Sistema de Trazabilidad debido a que los flujos de materiales se encuentran predeterminados o hasta un cierto punto del proceso se manejan flujos semejantes.

Es importante reconocer estos tipos de sistemas de producción ya que de ello depende la manera en que debe planificarse la producción, y el procedimiento que debe realizarse con los recursos, por ejemplo el proceso de compra, el manejo de los inventarios y la utilización de la maquinaria, entre otros. Según (COLLAO PEREZ, 2004), en la producción de proceso continuo, por ejemplo, es necesario tener un stock de materia prima para evitar paradas de producción. En cambio, en la producción de proyecto, la materia prima o los materiales por lo general se adquieren una vez conocido el pedido.

6.2 La Trazabilidad y las características de definición del Tamaño del Lote

En la actualidad las preferencias y las fluctuaciones del mercado varían de forma considerable en poco tiempo, además de que las necesidades y los requerimientos suelen ser cada vez más y con mayor grado de exigencia, dicha afirmación incide en la manera en que se designa elementos como el horizonte de planificación del tamaño del lote ya que su extensión genera una serie de incidencias, un periodo bastante extenso puede restar la capacidad ante los cambios que se presenten en el mercado debido a nueva reglamentaciones con respecto a la producción de artículos para exportación y de los clientes, de la misma forma el de incrementar el grado de complejidad de identificar situaciones específicas atributo de la trazabilidad, y por otra, periodos muy cortos pueden no beneficiar la regularidad buscada en la producción¹⁷, por lo que se intenta trabajar sobre esta temática y generar un equilibrio común .

Es posible resaltar que muchas de las compañías poseen un cierto grupo de restricciones que pueden ser de recurso humano, equipos, presupuesto, entre otros. Esta situación ha motivado a las compañías a implementar una serie de sistemas y herramientas que les permitan generar mayores beneficios tanto económicos como productivos.

Bahl et al., reseñado por (BASNETA, et al., 2005) en *"Inventory lot-sizing with supplier selection"*, brinda una evaluación exhaustiva de la literatura de definición de tamaños de lote. Se proveen cuatro categorías para clasificar el trabajo en esta área:

- Nivel sencillo con recursos libres.
- Nivel sencillo con restricción de recursos.
- Múltiples niveles con recursos libres.
- Múltiples niveles con restricción de recursos.

Los niveles hacen referencia a los diferentes niveles en una estructura de lista de materiales donde existe dependencia de requerimientos, y los recursos libres se refieren a limitaciones en la capacidad de producción. En ambientes en los cuales los flujos de materiales son complejos y las demandas suelen ser altamente variables, el sistema que conviene seleccionar es la *MRP*¹⁸.

¹⁷ DOMÍNGUEZ MACHUCA. et al., Óp. cit., p. 206.

¹⁸ KRAJEWSKI. et al., Óp. cit., p. 754.

Sin embargo la superioridad relativa del sistema *MRP* es mayor cuando hay más niveles de *BOM*¹⁹ y los tamaños de lote son más grandes²⁰, esta afirmación presenta una incompatibilidad con la Trazabilidad, debido a que para un efectivo desempeño de esta herramienta es necesario manejar un alto nivel de precisión lo cual lo brindan los tamaños de lote pequeños, sin embargo no todos los productos pueden efectuarse con pocos niveles de listas de materiales, de ahí la necesidad de desarrollar una metodología que permita abordar listas de materiales sin incidir en el cometido de la trazabilidad. Del mismo modo se identificó que cuanto mayor sea el grado de transformación del producto, más complejo será el sistema de trazabilidad debido al incremento de la cantidad de información a registrar en el sistema, generando mayores costos de mantenimiento y por ende la trazabilidad.

Retomando el tema, en la práctica la definición de tamaño de lote básica corresponde exactamente a producir la cantidad requerida (ordenar o pronosticar) durante un período de tiempo especial. En la que la producción o adquisición son determinadas siempre que hay una demanda diferente a cero, ya sea que la demanda sea grande o pequeña sin embargo esta decisión puede concebir altos costos de configuración y de pedido. De ahí que se adicione lo concerniente a rentabilidad a la definición del tamaño del lote de producción.

Basados en esta directriz se tiende a generar largas series de producción ya que se presenta una reducción en los costos de producción además de un detrimento en el tiempo de configuración o alistamiento, la industria recurrió a la producción de tamaños de lote de mayor tamaño, ya que con este tipo de sistemas se pretendía minimizar el costo de dejar de fabricar un producto e iniciar la producción de otro, asimismo la consecución de descuentos por volumen de compra de materias primas e insumos, esto se conoce como sistemas *Push*.

Los sistemas *Push* tienen como resultado el mantenimiento de un excesivo número de ítems en inventario, despilfarro de stocks debido a que el almacenaje de lo que no se vende cuesta dinero e inmoviliza recursos de la empresa sin añadir valor al producto, retraso ya que los clientes deben esperar a que la empresa produzca lotes enteros en vez de fabricar justamente las cantidades necesarias en cada momento, de la misma forma la reducción de la calidad puesto que el almacenaje de productos no vendidos aumenta las oportunidades de que dichos artículos se estropeen o sufran daños, lo que aumenta los

¹⁹ *BOM, Bills of Materials* hace referencia a las Listas de Materiales.

²⁰ KRAJEWSKI. et al., Óp. cit., p. 700.

costos. Esta alternativa, probablemente se traduciría en costos de inversión excesivamente altos al mismo tiempo generando un detrimento en la precisión del sistema de trazabilidad debido a que un lote de fabricación de gran tamaño requeriría la mezcla de lotes de materia prima de diferentes proveedores para completar una orden de producción (WANG, et al., 2010).

Con la finalidad de actuar frente a este inconveniente posteriormente se maneja el enfoque de no dar lugar a grandes series de un solo producto sino a muchas variedades diarias de pequeños lotes, con el objetivo de responder de una manera más rápida a las fluctuaciones del mercado y las variaciones de la demanda²¹, la industria comenzó a trabajar el enfoque de diseño tamaños de lote de producción más pequeños, sin embargo se genera un costo por el incremento en el número de preparaciones, estos sistemas se denominan *Pull*.

De ahí uno de los grandes interrogantes en los ambientes de producción a través del tiempo ha sido el tomar la decisión de cuanto ordenar, que consiste en seleccionar una cantidad que puede presentar varias alternativas, debido a que podría acumular pequeños inventarios y ordenar frecuentemente o almacenar gran cantidad de inventarios y ordenar con poca frecuencia. Esta alternativa probablemente tendría como resultado excesivos costos de ordenar.

Del mismo modo se presentan incertidumbres en la demanda, sin embargo la elaboración de artículos de acuerdo a una demanda probabilística basada en pronósticos sería demasiado costoso puesto a que se incurriría en altos costos de posesión y almacenamiento²², lo más adecuado sería trabajar sobre demandas deterministas con el objetivo de reducir el nivel de inventarios, se pide la cantidad suficiente para atender la solicitud del cliente más reciente²³.

A través del tiempo muchas fórmulas y algoritmos han sido creados, de estas técnicas la más simple y utilizada es el EOQ (*Economic Order Quantity*) o Lote Económico de Pedido, desarrollada por Harris en 1913 y por Wilson en 1934. Esta fórmula tiene como objetivo minimizar la suma entre los costos de posesión y los costos de configuración, cabe anotar que algunas de sus suposiciones nunca son cubiertas en la práctica, sin embargo el deseo de hallar un desempeño óptimo al interior de las plantas de producción ha motivado el desarrollo de técnicas y metodologías que contribuyan a dicho objetivo, una prueba de

²¹ DOMÍNGUEZ MACHUCA. et al., Óp. cit., p. 205.

²² IBID., p. 552.

²³ KRAJEWSKI. et al., Óp. cit., p. 551.

esto es el trabajo que se está realizando, del mismo modo el Lote Económico de Pedido es un modelo determinista.

Entre muchas teorías también se puede subrayar la filosofía de Justo a Tiempo JIT, que tiene como uno de sus fundamentos la reducción al nivel más bajo posible o la eliminación de los inventarios, en *“Dynamic lot-sizing with setup cost reduction”* por (DENIZEL, et al., 1997) se comenta que con el objetivo de trabajar este enfoque, la industria en especial sus administradores, han asumido la compra de cantidades pequeñas de insumos con una mayor frecuencia, con el objetivo de no conservar grandes depósitos de mercancía en almacén.

Idealmente bajo la filosofía JIT algunos de los costos tradicionales con el modelo tradicional EOQ se eliminan o se reducen considerablemente. Estos costos incluyen los costos de ordenar, de almacenamiento, el costo de capital, de seguro y los costos de transporte (FARZANEH, et al., 1998). De la misma forma CHASE, et al., en *“Administración de la Producción y Operaciones para una ventaja competitiva”*, realiza un aporte significativo debido a que asevera dadas las condiciones el trabajar JIT con excesos de capacidad en mano de obra y en equipo, resulta mas economico que llevar altos inventarios.

Al mismo tiempo con la utilización de esta nuevo enfoque se procuró solucionar una grupo de circunstancias las cuales se presentaban por el hecho de mantener altos inventarios, ya que esta situación permite que se disimulen problemas como es la incertidumbre en las entregas de los proveedores, paradas de máquinas, falta de calidad, ruptura de stocks, demanda incierta, cuellos de botella en recursos clave²⁴, de igual forma acumulación de inspecciones, de papeleo y de ingreso de pedidos, redundancias en el diseño de ingeniería y decisiones no tomadas²⁵, entre otras.

Los sistemas JIT, los cuales presentan cierta afinidad con el adecuado rendimiento de la Trazabilidad, aplicados en ambientes con altos volúmenes de producción para inventario, no tienen la capacidad de responder con rapidez a los cambios de programación porque disponen de poca holgura en sus inventarios o en su capacidad para absorber estos cambios²⁶, por lo que en el ámbito productivo presentan falencias.

²⁴ DOMÍNGUEZ MACHUCA. et al., Óp. cit., p. 203.

²⁵ CHASE. et al., Óp. cit., p. 480.

²⁶ KRAJEWSKI. et al., Óp. cit., p. 753.

Rosenblatt and Lee referidos por (SALAMEH, et al., 2000), definieron que la presencia de artículos defectuosos motivo a la definición de tamaños de lote más pequeños además se consideró la supervisión del proceso de producción con el objetivo de detectar los errores lo más pronto posible, multiplicando nuevamente la característica de la trazabilidad como es la precisión, lo que contribuye a identificar con mayor rapidez los problemas presentados en el proceso productivo y por ende los artículos relacionados.

El hecho de que los administradores compren productos en diferentes intervalos de tiempo discrepa en cierto modo con el óptimo funcionamiento del Sistema de Gestión de Trazabilidad, debido a que este pretende que los materiales utilizados en el proceso de producción posean condiciones idénticas, por lo que en este caso se presenta una variabilidad en los insumos utilizados lo que incrementaría la dificultad para aislar un problema.

Por otro lado (WHITE, et al., 2001), enfatiza que se empezó a trabajar la hipótesis de que los lotes pequeños de producción ocasionan una gran flexibilidad para cambiar de un producto a otro además la ventaja también radica en la reducción de costos por almacenamiento, inventarios en proceso y entregas fuera de tiempo.

Si cambiar de un producto a otro no entrañara costos ni pérdida de tiempo, se producirían muchos lotes pequeños sin embargo para hacer viable y eficaz la fabricación de pequeños lotes de producción de artículos distintos, es fundamental la reducción de los plazos de fabricación lo que a su vez requiere reducir los tiempos de preparaciones llegando a crear situaciones donde el costo del cambio entre modelos tenga un costo nulo o insignificante²⁷.

Una de las herramientas que se originó nació por la necesidad de lograr la producción JIT es el sistema *SMED*²⁸, que es una teoría y un conjunto de técnicas que hacen posible realizar las operaciones de cambio de útiles y preparación de máquinas en menos de diez minutos, es importante señalar que puede no ser posible alcanzar el rango de menos de diez minutos para todo tipo de preparaciones de máquinas²⁹.

El *SMED* reduce dramáticamente los tiempos de cambio y preparación en casi todos los casos. Algunos de los beneficios que aporta esta herramienta son: reducir el tiempo de

²⁷ DOMÍNGUEZ MACHUCA. et al., Óp. cit., p. 211.

²⁸ *Single Minute Exchange of Die* literalmente quiere decir “Cambio de una matriz en minutos de un solo dígito” no obstante se maneja como “Cambio de útiles en menos de diez minutos”.

²⁹ Tomado de <http://bdigital.eafit.edu.co/bdigital/PROYECTO/P621.9023B326/Capitulo1.pdf>

preparación y pasarlo a tiempo productivo, reducir el tamaño del inventario, reducir el tamaño de los lotes de producción y producir en el mismo día varios modelos en la misma máquina o línea de producción (DEL VIGO CARCIA, et al., 2009).

Según (CRESPO FRANCO, et al., 1996), el principio de diseñar tamaños de lote de pedido más pequeños y de incrementar la frecuencia de las órdenes puede causar un problema de programación de la producción, debido a que a medida que se envían órdenes de producción más pequeñas, se fuerza la ejecución de series de producción más cortas y con mayor frecuencia para utilizar el inventario que entra, lo cual tiene una incidencia importante en los costos de obtención de los productos.

Por tanto, para alcanzar menores lotes de producción en el ámbito económico se requiere reducir los tiempos de preparación de las máquinas, con la finalidad de controlar adecuadamente el incremento que se produce en los costos de preparación como consecuencia de las series de producción más pequeñas y frecuentes.

Referente a la característica de deterioro de artículos la trazabilidad es una herramienta bastante eficiente, debido a que permite un óptimo control del inventario, en ocasiones debe realizarse la retirada de productos del mercado no solo porque se encuentre con algún problema de tipo químico o biológico, entre otros, sino por qué si los artículos son perecederos o poseen el denominado ciclo de vida³⁰ y se encuentre cerca de expirar.

Este tipo de producto debe estar supervisándose para evitar que los productos que no posean las mismas características de calidad después de haberse producido no sean adquiridos, para contrarrestar esta situación en la industria se plantean una serie de actividades comerciales como es el caso de descuentos para que los productos sean vendidos antes de que los productos presenten detrimentos en su calidad, de lo contrario el impacto de ese retiro es tan importante, ya que la imagen negativa de las marcas se recuerda en el subconsciente de los consumidores potenciales (KUMAR, et al., 2006).

6.3 Implicaciones de los Proveedores en el Tamaño de Lote en Producción y la Trazabilidad

Cabe anotar que existen situaciones las cuales no dependen de manera directa de los administradores ya que no hacen parte de proceso de producción pero hacen parte de la cadena de abastecimiento. Se ha identificado situaciones en las que los proveedores de materia prima e insumos no trabajan bajo las condiciones de Justo a Tiempo o lo hacen

³⁰ WANG. et al., Op. cit., p. 465.

pero con modelos con patrones diferentes, es posible hallar proveedores que generan grandes tamaños de lote de producción con el objetivo de reducir los costos de configuración, que es una característica de los sistemas *Push* pero se entrega los artículos a los minoristas o compradores en pequeños lotes. Así el inventario acumulado durante el tiempo de activo de la producción se usa para hacer entregas durante el tiempo muerto de producción hasta que el inventario se agote. La producción entonces se reanuda y el ciclo se repite (KHANA, et al., 2002).

Esta situación de alguna manera altera el sistema de Trazabilidad, debido a que aunque los materiales hayan sido fabricados bajo las mismas condiciones de producción, debido a que se adquirieron en periodos de tiempo distintos hacen parte de ordenes diferentes de compra por lo que para el sistema se consideran diferentes, lo cual incrementara el número de registros a ingresar en el sistema de trazabilidad.

En el proceso de materias primas es posible reseñar que si la empresa no puede concretar con los proveedores él envió de embarques frecuentes y pequeños de elementos comprados, no será posible obtener grandes ahorros por concepto de inventarios de esos elementos. En cierto grupo de países como Estados Unidos, este tipo de conciliación suele ser difícil por la dispersión geográfica de los proveedores³¹.

6.4 Análisis de los Instrumentos Técnicos utilizados para trabajar con Trazabilidad en el ámbito operativo

Un sistema de trazabilidad de productos requiere la identificación de todas las entidades físicas (y locaciones) desde que se origina el producto, que es decir, donde se procesa, empaca y almacena y que se incluye cada agente en la cadena de suministro.

Hoy en día los recursos técnicos y operativos disponibles son fundamentalmente los códigos alfanuméricos, los códigos de barras, identificación por radio frecuencia (*RFID*) (REGATTIERI, et al., 2007) y a través de Gráficas de Gozinto³².

³¹ KRAJEWSKI. et al., Óp. cit., p. 753.

³² VAN DORP, et al., Óp. cit., p. 4.

6.4.1 Códigos Alfanuméricos

Los códigos alfanuméricos son una secuencia de números y letras de varios tamaños ubicados en etiquetas, que se ubican en orden en el producto o en su empaque. Claramente, en el sector de alimentos la última de estas prácticas es la más apropiada.

La fase de diseño de este sistema es muy simple y económica, pero esta gestión requiere recursos humanos significativos y demasiado costosos por que la escritura y lectura de códigos no es automática. Además, su rendimiento no es particularmente bueno: hay muchos problemas asociados con la gran cantidad de datos dirigidos manualmente. El riesgo de corrupción en la integridad de los datos es muy alto. Ningún estándar está definido para códigos alfanuméricos, y ellos son generalmente códigos “propios”, por eso hay un único y no general lazo entre los diferentes actores (proveedores de materia prima, fabricantes y distribuidores) en la cadena de suministro analizada.

La *European Article Numbering (EAN) Association* ha hecho algunos esfuerzos hacia la estandarización introduciendo varios códigos: el mejor conocido es el EAN/UCC *Global Location Numbers (GLN)*³³ en la versión EAN/UCC-13.

6.4.2 Códigos de Barras

Hoy, los códigos alfanuméricos no se usan frecuentemente por que los códigos de barras ofrecen varias ventajas significativas. En efecto, la introducción del código de barras ha modificado el manejo de todos los materiales a lo largo de la cadena de abastecimiento y además afecta particularmente la cuestión de trazabilidad. La automatización, la alta velocidad, la gran precisión (este es prácticamente un sistema libre de errores) garantizada por una estructura de código de barras permite sistemas de trazabilidad más simples, más económicos, y más exactos.

En el tiempo de escribir códigos más y más industrias, especialmente en el sector del *retail*, usan códigos de barras como medio principal para identificar artículos. Varias aplicaciones de la trazabilidad de productos industriales (no alimentos) que aun trabajan bien se basan en esta tecnología. Con respecto a alimentos, la trazabilidad es menos avanzada y hay solo un poco de aplicaciones de ventaja.

³³ *Global Location Numbers (GLN)* reseña a los Número de Ubicación Global.

En el sistema de código de barras, en cada momento cada artículo se mueve de un punto a otro, su etiqueta de código de barras debe ser posicionada donde pueda ser detectada e identificada por el lector. Esta característica, frecuentemente llamada requerimiento de posicionamiento visual, requiere la intervención humana (por tanto tiempo y esfuerzo) para el proceso de escanear así que hay lugar para errores e ineficiencia, asimismo existe una restricción con respecto a la distancia de lectura limitada a pocos metros (CORREA ESPINAL, et al., 2009). Además brinda el soporte físico para una etiqueta, esta usualmente tiene generosas dimensiones y es fácilmente dañada (el daño “óptico” es suficiente). Como resultado los códigos de barras son menos atractivos para el sector de alimentos, y su aplicación es consecuentemente limitada.

6.4.3 Identificación por Radio Frecuencia (*RFID*)

Adicional a la tecnología de código de barras, está la Identificación por Radio Frecuencia o Sistema *RFID*, que es una herramienta de identificación que usa microchips inalámbricos para crear etiquetas que no necesitan contacto físico o una particular alineación con el lector, la lectura de los códigos es muy rápida y completamente automatizada.

Las etiquetas *RFID* son muy pequeñas (unos pocos milímetros de distancia de lectura) y no tienen problemas de compatibilidad con los alimentos. El TAG es un sistema de aislamiento, sus materiales son asépticos y compatibles con los alimentos. El enlace entre el TAG y el producto es muy fácil: para bienes sólidos el sistema de pegado es muy efectivo (los pegantes son absolutamente neutrales); para líquidos la etiqueta es usualmente conectada al sistema de empaque o de almacenamiento.

La onda de radio usada para la comunicación entre las etiquetas y la base de datos de trazabilidad usa muy poco poder, así que la interacción electromagnética prácticamente no existe. La última tecnología en el momento de escribir tiene una buena tasa de transferencia de datos, incluso cuando un gran cantidad de interferencia electromagnética afecte el campo ferromagnético.

En general un Sistema de *RFID* resulta en lo siguiente (Sahin et al., 2002):

- Una reducción en el costo laboral. *RFID* simplifica los procesos de manipulación y almacenaje, particularmente ya que no se requiere ninguna operación de escaneo y de comprobación manuales.
- Una aceleración del flujo físico. Como un lector *RFID* puede leer numerosas etiquetas al mismo tiempo, la identificación es muy simple y rápida.

- Una reducción en las utilidades perdidas. La Universidad de Florida concluyó que cerca del 2% de las ventas totales en Estados Unidos se pierde cada año debido a la “reducción” – robo de empleados y clientes, fraude del vendedor y errores administrativos.
- Un control más eficiente de la cadena de suministro en términos de mejorar el control de la situación de inventarios, y el monitoreo de la producción.
- Mejoras en el conocimiento del comportamiento de los clientes. Este conocimiento es de gran importancia especialmente para nuevos productos o artículos en promoción porque esto no es solo importante para verificar si se están o no vendiendo, o también para conocer si están siendo hurtados por los consumidores.

Con referencia específica al sector de alimentos, *RFID* es un sistema muy prometedor porque también resulta en:

- Mejora de la administración de artículos perecederos. El continuo monitoreo del direccionamiento de los artículos reduce el desperdicio y mejora el nivel del servicio al cliente.
- Mejora el *Tracking* y el *Tracing* de los problemas de calidad. Usando códigos de producto individuales, los sistemas *RFID* están brindando medios para identificar y encontrar solo productos defectuosos, y así ayuda a reaccionar frente a cualquier problema de calidad.
- Mejor de la administración del retiro de productos. La habilidad para trazar el direccionamiento de los productos puede asegurar eficientes procesos de recuperación y ayuda a los productores y distribuidores para minimizar el daño.

Sin embargo, algunas propiedades limitan los sistemas de Trazabilidad. El principal problema se relaciona al costo de etiquetar. Una etiqueta cuesta entre 0.5 € y 20 €, mientras el código de barras es un sistema de bajo costo, por lo tanto el *RFID* es más costoso y puede representar una significativa desventaja para el precio final del producto, particularmente para productos de bajo precio (por ejemplo, frutas, vegetales, pasta, leche, etc.).

Además de este problema, hay algunas cuestiones operativas que producen pequeñas dificultades: la falta de protocolos estandarizados *RFID* y problemas de escaneo debido a la interferencia electromagnética bajo condiciones específicas.

En conclusión, en el tiempo de escribir códigos los mejores instrumentos técnicos a usar para un sistema de trazabilidad de productos son los códigos de barras y los sistemas *RFID*. En particular, el *RFID* presenta propiedades muy favorables para el sector de alimentos, pero en el costo de etiquetar permanece un problema.

6.5 Dispersión del Proceso de Lotes y la Trazabilidad

Se pudo identificar a través de nuestra investigación que la cantidad de dispersión del Proceso de lotes se encuentra directamente relacionada con la Trazabilidad, debido a que la dispersión hace referencia al número de enlaces que se realizan dentro de un proceso de producción entre materias primas, componentes y productos terminados.

Por lo que al incrementarse el valor de la dispersión la Trazabilidad tendrá un aumento en la complejidad debido a que habrá de generarse mayor número de registros a ingresar y mantener en el sistema, mayor complejidad para realizar tanto el *Tracking* como el *Tracing* puesto que habrá una cantidad mayor de materias primas y componentes afectados lo que a su vez perturbará la eficiencia de una retirada de productos del mercado.

Por lo mencionado con prelación se podría incorporar al modelo de definición de tamaño de lote el término de Costo de Dispersión, el cual hace referencia a los costos a que se genera por el incremento del número de vínculos entre nodos, debido a que se encuentra una relación entre el número de vínculos y los costos generados por el registro de información y mantenimiento del sistema de trazabilidad además de las repercusiones de la variabilidad de las materias prima a rastrear o trazar.

6.6 Elementos que amplifican los beneficios de la Trazabilidad

Cuanto mayor sea el valor de la coordinación a lo largo de la cadena de suministro, mayores serán los beneficios de la trazabilidad para la empresa y la gestión del suministro, debido a que se tendrá mayor control sobre materias primas, insumos componentes y productos finales y su respectiva información de procedencia.

Cuanto mayor sea el mercado, mayor serán los beneficios de la trazabilidad para la gestión de la empresa, la seguridad y control de calidad, comercialización y crédito atributo.

Cuanto mayor sea el valor de los productos de manufactura tanto alimenticios, como medicamentos, entre otros, mayores serán los beneficios de la trazabilidad para la

seguridad y el control de calidad principalmente por la incidencia del valor en el costo de retirar productos del mercado.

Cuanto mayor es la probabilidad de fallas de seguridad o calidad, mayores serán los beneficios de reducir el grado de fracaso con los sistemas de trazabilidad para la seguridad y de control de calidad.

En cuanto mayor es el castigo por parte de las entidades reguladoras y de control por las fallas de seguridad o calidad, donde las sanciones incluyen la pérdida de mercado, gastos legales, multas o impuestos por las autoridades, mayores serán los beneficios de reducir el alcance de los fallas de seguridad o calidad con trazabilidad.

7. INCIDENCIAS ECONÓMICAS DE LA TRAZABILIDAD EN EL TAMAÑO DE LOTE DE PRODUCCIÓN

Se han identificado diversos atributos específicos de la producción los cuales afectan la inversión en inventario, la productividad y el servicio al cliente. Varios estudios han permitido concluir que la reducción de los tamaños de lote y los tiempos de configuración producen el mayor impacto, seguidos de la disminución de las pérdidas de rendimiento y del aumento de la flexibilidad del trabajador (KRAJEWSKI, et al., 1987).

Retomando la situación de qué cantidad debe producir se han generado una gran cantidad de estudios y discusiones que pretenden encontrar un compromiso óptimo entre estas alternativas en conflicto, de ahí se han desarrollado un gran número de modelos matemáticos que en cierta forma muestran el costo total como la suma del costo de inventario de posesión y el costo de ordenar³⁴.

Por lo que se hará mención a los costos que poseen mayor incidencia en la definición del tamaño del lote de producción.

7.1 Efectos de la Trazabilidad en los Costos asociados al Tamaño de Lote de Producción

Debido a que en la sección anterior se hace mención a la generación de algunos costos de acuerdo al sistema de producción que se utilice se comentara acerca de los costos involucrados en la definición de los tamaños de lote de producción

Los costos son: el costo de configuración, el costo de ordenar y el costo de posesión³⁵.

7.1.1 Costo de Configuración

Los costos de configuración, preparación o alistamiento como también se conocen, son los relacionados a la elaboración de un lote o un grupo de lotes. Anteriormente se señaló que dependiendo del tamaño de lote a producir se incurre en un mayor o menor costo de configuración debido a que se genera cierta cantidad de desperdicio de material, tiempo,

³⁴ Tomado de "CLASSICAL DECISION MODELS FOR INVENTORY MANAGEMENT"
<http://whohi.net/multiple/MNG%20221/hand/Week%2011/EOQ.pdf>

³⁵ Tomado de Small Lot Production, <http://web.utk.edu/~kkirby/IE527/Ch5.pdf>

entre otros, en particular si los tamaños de lote de producción son pequeños ya que se debe implementar cierto grupo de sistemas, con el objetivo de reducir el costo y el tiempo de configuración y hacer factible su realización.

7.1.2 Costo de Ordenar

Hace referencia al costo de poner y recibir una orden de un proveedor. Se conoce que el fabricar lotes de producción de gran tamaño favorece el manejo de este costo sin embargo la aceptación que ha logrado la implementación del sistema Justo a Tiempo JIT con respecto a generar lotes pequeños y los beneficios que esto brinda a la trazabilidad, ha hecho que los costos de ordenar presenten un incremento.

7.1.3 Costo de Producto

Para el caso en que se maneja Trazabilidad por medio de Identificación por Radio frecuencia, existen limitaciones debido al costo de las etiquetas lo que incrementa el precio final de los productos, en especial para los que manejan precios bajos, debido a esta afirmación técnicas como los gráficos de gozinto y los códigos de barra han tomado una gran aceptación, sin embargo de estos últimos cabe anotar que existen unas deficiencias en torno al ámbito operativo además de que requieren recursos adicionales debido a que la lectura de los códigos debe realizarse de manera manual.

7.1.4 Costo de Posesión

El costo de Posesión se genera por el hecho de sujetar una unidad en existencia para un período de tiempo en particular. Así mismo es posible relacionar un grupo de elementos que hacen parte del costo de Posesión:

- El almacenamiento (el alquiler, los arrendamientos, hipoteca, los servicios, la manutención, entre otros).
- Seguimiento o *Tracking* y el monitoreo de inventarios.
- Daños y hurtos.
- Interés sobre el dinero de producir o conseguir la materia prima.
- El costo de oportunidad sobre el dinero inmovilizado en inventarios.

Como se pudo observar, se pudo identificar que lo concerniente a los costos de Trazabilidad en alguna de sus direcciones se encuentra relacionado al costo de Posesión,

por lo que cualquier decisión que competa a Trazabilidad tendrá gran incidencia en este costo.

El uso de Sistemas *RFID* permite la actualización en tiempo real de los inventarios en corto tiempo por lo que el costo de posesión estará más cercano al contexto presente, debido a que habrá un constante seguimiento igualmente de las roturas, hurtos o para el caso del alimentos de los productos que termino su ciclo de vida, situación que no ocurre con las otras técnicas de manejo de Trazabilidad ya que la lectura debería hacerse de manera manual, lo cual ocuparía recursos de personal y tiempo, además de que puede existir errores en la lectura.

También se considera como un costo relacionado a la Trazabilidad al valor de los productos que deben ser recuperados en el evento de retirar productos del mercado multiplicando su probabilidad de ocurrencia, el cual se define como un elemento vital dentro de nuestra investigación³⁶.

De ahí la necesidad de definir una función de costo que permita identificar el valor de una posible retirada de productos del mercado debido a la utilización de diferentes lotes de materia prima para la consecución de un lote de producto terminado. Del mismo modo se pretende asociar el riesgo que cada lote de materia prima puede significar debido a que sus condiciones de fabricación son completamente diferentes.

7.2 Repercusiones Económicas de los factores de desempeño de la Trazabilidad

7.2.1 Amplitud

Cuanto más amplia sea la amplitud de la trazabilidad, habrá mayor información para registrar resultando más alto el costo de la trazabilidad debido al incremento de la información a registrar dentro del sistema.

7.2.2 Profundidad

Cuanto mayor sea la profundidad y el número de transacciones, mayor será el costo de la trazabilidad, generado por el mayor número de la dispersión del lote lo cual a su vez aumenta el grado de complejidad en el caso de una eventualidad que requiera el retiro de productos del mercado.

³⁶ WANG. et al., Op. cit., p. 467.

7.2.3 Precisión

Cuanto mayor es la precisión, más pequeño y más exigente son las unidades de seguimiento, mayor será el costo de la trazabilidad debido a la mayor necesidad de datos, capacidad de hardware, tiempo de computación, entre otros, sin embargo estos costos no son propios de nuestra investigación puesto que hacen parte de la inversión de la implementación de la herramienta como lo es la trazabilidad que no fue de la responsabilidad de nuestra investigación, sin embargo se logró incorporar un análisis de las diferentes técnicas de trazabilidad y su incidencia dentro del proceso operativo.³⁷.

7.2.4 Identificación de los productos

Cuanto mayor sean las dificultades tecnológicas de seguimiento ya sea debido a la naturaleza de la cadena de suministro, la complejidad del producto o el sistema productivo, entre otros, mayor será el costo de la trazabilidad.

7.2.5 Segregación y Preservación de la identidad

Cuanto mayor sea el número de la segregación o actividades nuevas de preservación de la identidad, mayor será el costo de la trazabilidad.

7.2.6 Otros

Cuanto mayor sea el número de nuevos sistemas de contabilidad y los procedimientos, más costosa es la puesta en marcha de la trazabilidad.

³⁷ DOMÍNGUEZ MACHUCA. et al., Óp. cit., p. 53.

8. PROPUESTA EXPERIMENTAL PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En seguida se presenta la formulación del modelo de planeación para la optimización del tamaño de lote de producción ajustado por la trazabilidad. Para el desarrollo de la propuesta metodológica se ha decidido tomar como referencia dos artículos, el primer artículo es *“A production planning model to reduce risk and improve operations management”*³⁸. Este hace referencia a un modelo de programación no lineal entera-mixta, con una tasa de reposición finita, en el que los productos terminados se entregan en un intervalo de tiempo fijo; además involucra la selección de materia prima, número y tamaño de lote en producción, e incorpora un costo adicional como es el costo potencial de retirar productos del mercado, que es un costo que se encuentra muy ligado a lo que es la trazabilidad.

También se introduce a esta investigación el denominado ciclo de vida del producto³⁹, el cual se presenta de manera estándar entre productos alimenticios debido a que estos poseen una vida útil la cual debe tenerse en cuenta para la toma de decisiones dentro del proceso de producción; cabe anotar que los tamaños de lote de materia prima para una materia prima en particular son constantes. Un aspecto incorporado dentro del modelo es el envío de producto terminado en cantidades constantes con lo que se pretende reducir los costos de posesión del cliente que es una situación que se presenta reiteradamente en la vida real.

Del mismo modo se incorpora una situación que se presenta con bastante frecuencia dentro de la industria y que tiene una gran injerencia dentro de los propósitos de la trazabilidad, como lo es utilizar diferentes lotes de materia prima para un mismo tipo de materia prima particular de diferentes proveedores, lo que conlleva a distintos precios y a una diferente homogeneidad en las materias primas utilizadas en la composición del lote de producción.

Con respecto a estas condiciones se incorpora un elemento como lo es la definición de la dispersión del lote descrita en el segundo artículo denominado *“Batch dispersion model to optimise traceability in food industry”*⁴⁰. Con este se pretende medir el número de enlaces

³⁸ WANG, et al., Óp. cit., p. 463.

³⁹ IBID., p. 465.

⁴⁰ DUPUY, et al., Óp. cit., p. 333.

que existen entre materias primas y productos terminados, que en cierta forma determina el nivel de complejidad en el caso de realizar un retiro de productos del mercado.

Con estos factores y algunos adicionales se pretender desarrollar una metodología para la definición del tamaño de lote de producción más ligado a aspectos reales dentro de los procesos de producción.

8.1 Notación y Definición

Cabe anotar que para mayor comprensión del modelo de planeación integrada los parámetros se definirán en minúsculas y las variables en mayúsculas.

- *Conjuntos.*

LOT: {1... I} Conjunto de lotes de materia Prima disponibles, indexado en i .

MP: {1... K} Conjunto de Materias Primas, indexado en k .

- *Subconjuntos.*

LOTMP (LOT, MP): Subconjunto de lotes de materia prima i que pertenece al conjunto LOT que suministra la materia prima de tipo k que pertenece al conjunto MP.

- *Índices.*

k : Tipo de materia prima.

i : Lote de materia prima disponible.

- *Parámetros.*

- ❖ Parámetros Generales.

dm : Demanda del producto terminado.

tp : Tasa de producción para un producto terminado (unidades/tiempo).

ts : Intervalo de tiempo entre envíos sucesivos.

vu : Vida útil del producto terminado.

vc :	Tiempo de caducidad contratado con el cliente/minoristas del producto terminado.
vm :	Tiempo de vida mínima útil requerida por el cliente/minoristas.
λ :	Coeficiente de probabilidad de retirar los productos terminados del mercado.
ri_{ik} :	Tasa de riesgo de la materia prima de tipo k del lote i .
cpi_{ik} :	Capacidad del lote i de la materia prima de tipo k .
xp :	Cantidad enviada de producto terminado contratada con el cliente (unidades/por entrega).
rk_k :	Proporción de materia prima tipo k para fabricar una unidad de producto terminado.
vhv :	Valor muy alto.

❖ Parámetros De Costos.

ca :	Costo unitario de alistamiento de una unidad de producto terminado.
ci_{ik} :	Costo unitario del lote i de materia prima tipo k .
cp :	Costo unitario de posesión de producto terminado (\$/unidad/tiempo).
cf :	Costo de penalización por artículo faltante de producto terminado.
pv :	Precio de venta contratado de una unidad de producto terminado.

• Variables de Decisión.

TC :	Periodo de tiempo de ciclo del producto terminado.
CM :	Costo total de materia prima.
CS :	Costo total de alistamiento de la producción.
CR :	Costo potencial total de retirar productos del mercado.
CH :	Costo total de posesión.
CO :	Costo total del inventario de producto terminado estropeado u obsoleto.
CT :	Costo total de la producción.
IP :	Nivel de inventario promedio de productos terminados durante la producción
EP :	Número de envíos de producto terminado en un periodo de planificación.
ET :	Número de envíos requeridos durante el periodo de escasez de demanda del producto terminado.
EE :	Número de envíos posibles para hacer de producto terminado.
QI_{ik} :	Cantidad de materia prima del lote i de materia prima de tipo k .

QK_k :	Cantidad de la materia prima de tipo k .
QF :	Cantidad faltante de producto terminado.
QT :	Tamaño del lote de fabricación de producto terminado.
YI_{ik} :	Variable binaria igual a 1 si se utiliza la materia prima del lote i de tipo k y 0 de lo contrario.
YY :	Variable binaria relacionada a la obtención del costo de obsolescencia o deterioro.

8.2 Descripción del modelo

- *Definición del Tamaño de Lote de Producción del tipo de producto terminado.* En este modelo, el producto de la cantidad de lote de producto terminado (QT) y el rendimiento de cada materia prima de tipo k es igual a la cantidad de materia prima de tipo k :

$$QT * rk_k = Qk_k \quad \forall k$$

La cantidad de materia prima de tipo k es igual a la sumatoria de los lotes i de materia prima de materia prima de tipo k :

$$Qk_k = \sum_{i \in LOT} QI_{ik} \quad \forall k$$

El tamaño de lote de producto terminado es igual al producto del número de envíos de producto terminado por la cantidad de producto terminado pactada con el cliente por entrega:

$$QT = EP * xp$$

Las siguientes ecuaciones son restricciones del tamaño de lote de producción:

$$QT \leq \frac{vu - vm}{ts} \cdot xp$$

$$QT > 0$$

- *Definición de la variable binaria YI_{ik} .* La siguiente ecuación expresa que la variable YI_{ik} es igual a 1 si respectivamente QI_{ik} es diferente de cero.

$$QI_{ik} \leq YI_{ik} * cpi_{ik} \quad \forall i, \forall k$$

Aquí si $YI_{ik} = 1$, entonces $QI_{ik} \neq 0$.

- *Definición del periodo de tiempo de ciclo.* El tiempo de ciclo se define como:

$$TC = EP * ts$$

- *Definición del costo total de alistamiento.* El costo de alistamiento de la producción en un periodo de planificación puede ser expresado como:

$$CS = \frac{dm}{QT} * ca$$

- *Definición del inventario promedio del producto terminado.* Hay dos partes de inventario consideradas en el modelo para el inventario de producto promedio: el inventario de producto terminado acumulado durante el tiempo activo de producción (el área triangular en la Figura 07) y el inventario de producto terminado listo para entrega (patrón en escalera Figura 07).

$$IP = \frac{QT^2}{2 * tp * EP * ts} + \frac{(EP + 1) * xp}{2}$$

La primera parte de la ecuación calcula el nivel de inventario promedio de inventario de productos terminados acumulados durante la producción.

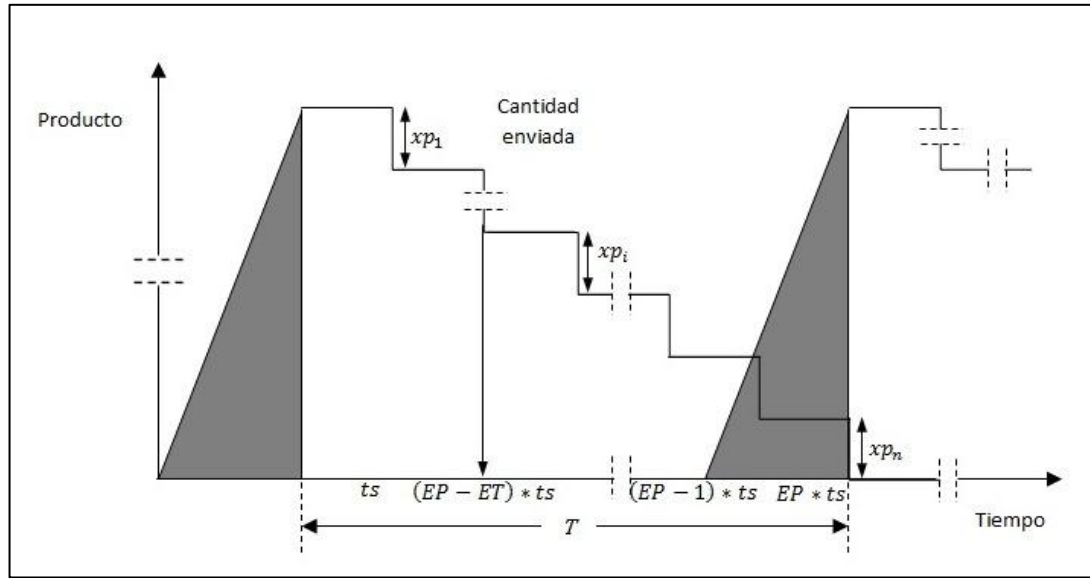


Figura 07. Nivel de inventario de producto en contra del tiempo.
Fuente. Autor

La base que es el tiempo está dada por QT/tp , como tp es la tasa de producción y QT es el inventario, se puede calcular el tiempo necesario para reponerlo y la altura es el tamaño de lote QT .

$$IP = \frac{\int_0^T I(t) dt}{\int_0^T dt}$$

La integral de $I(t)$ a evaluar entre 0 y T , es posible fraccionarla en dos términos, por lo que se puede expresar como:

$$IP = \frac{\int_0^{QT/tp} I(t) dt}{\int_0^T dt} + \frac{\int_{T-Q/P}^T I(t) dt}{\int_0^T dt}$$

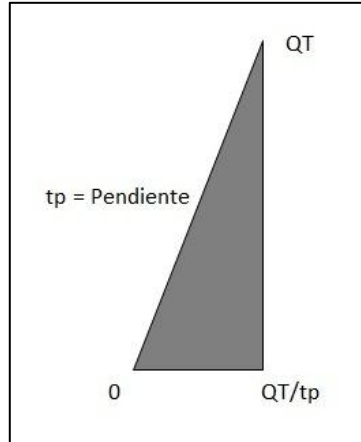


Figura 08. Inv. de producto terminado acum. durante el tiempo activo de producción.
Fuente. Autor

De acuerdo a la gráfica de la Figura 8 se define la ecuación de la recta como:

$$I(t) = tp * t$$

Para dar mejor entendimiento del cálculo del área debajo del triángulo se procederá a realizar su demostración.

El primer término hace referencia al área debajo del triángulo, integrando se obtiene:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{\int_0^{QT/tp} I(t) dt}{\int_0^T dt} = \frac{\int_0^{QT/tp} tp * t dt}{\int_0^T dt} = \frac{tp * \frac{t^2}{2} \Big|_0^{QT/tp}}{t \Big|_0^T} = \frac{\frac{tp}{2} * \left(\frac{QT}{tp}\right)^2 - \frac{tp}{2} * (0)^2}{(T) - (0)} \\ &= \frac{\left(\frac{tp}{2} * \frac{QT^2}{tp^2}\right) - (0)}{(EP * ts) - (0)} = \frac{\frac{QT^2}{2 * tp}}{EP * ts} = \frac{QT^2}{2 * tp * EP * ts} \end{aligned}$$

El nivel de inventario promedio de productos terminados acumulados durante la producción se obtuvo de la integración del primer término y se describe como:

$$A_1 = \frac{QT^2}{2 * tp * EP * ts}$$

La segunda parte de la ecuación calcula el nivel del inventario listo para entrega (patrón en escalera) y es la sumatoria de la cantidad exacta para envíos individuales de producto terminado (x_p).

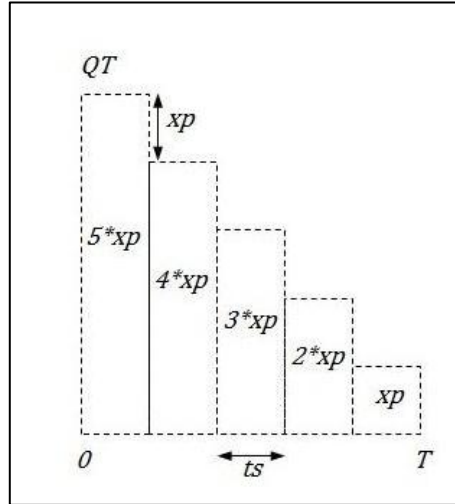


Figura 09. Inventario de producto terminado listo para entrega.
Fuente. Autor

El área del inventario de producto terminado listo para entrega puede expresarse como:

$$\int_{T-Q/P}^T I(t)dt = \sum_i^{EP} i * x_p * ts$$

Debido a que esta cantidad se encuentra pactada con el cliente en el momento de la realización del contrato se define como un parámetro y ts también se encuentra definido como un parámetro son constantes y salen de la sumatoria, por lo que la expresión de la cantidad de producto terminado enviada al cliente cambia y se define como:

$$\int_{T-Q/P}^T I(t)dt = x_p * ts \sum_i^{EP} i$$

dónde:

$$\sum_i^{EP} i = (EP + 1) * \left(\frac{EP}{2}\right)$$

por lo tanto:

$$\int_{T-Q/P}^T I(t)dt = xp * ts * (EP + 1) * \left(\frac{EP}{2}\right)$$

Reemplazando el área encontrada en el segundo término del inventario promedio se obtiene:

$$\begin{aligned} A_2 &= \frac{\int_{T-Q/P}^T I(t)dt}{\int_0^T dt} = \frac{xp * ts * (EP + 1) * \left(\frac{EP}{2}\right)}{(T) - (0)} = \frac{xp * ts * (EP + 1) * \left(\frac{EP}{2}\right)}{EP * ts} \\ &= \frac{xp * (EP + 1)}{2} \end{aligned}$$

- *Definición del costo total de posesión.* Multiplicando el nivel de inventario promedio con el costo unitario de posesión (cp), da como resultado la ecuación de costo de posesión que puede ser expresada como:

$$CH = cp * \left(\frac{QT^2}{2 * tp * EP * TS} + \frac{(EP + 1) * xp}{2} \right)$$

- *Definición del costo total de materias primas.* En la práctica, diferentes lotes de materia prima que arriban de diversos proveedores se mezclan en las listas de materiales para completar el plan de producción o para balancear la calidad y el costo asimismo cabe anotar que para la realización del modelo se maneja el supuesto de que todos los tipos de materia prima se utilizan en el proceso de producción, entonces la ecuación de costo de materias primas para un periodo de demanda puede ser descrito como:

$$CM = \frac{dm}{QT} \sum_{k \in MP} \sum_{i \in LOT} QI_{ik} * ci_{ik}$$

- *Definición del costo potencial total de retirar productos del mercado.* La probabilidad de retirar un lote de producción particular se ve afectado por la historia de retirar un producto del mercado para un tipo de producto y el nivel de riesgo de los lotes de materia prima usados en la producción. Por ejemplo si un artículo en particular tiene una mala historia de registros en término de retiradas de productos, es más probable que el producto será retirado en el futuro.

Del mismo modo, el alto nivel de riesgo de seguridad de un lote de materia prima usado en producción incrementara la posibilidad de retirar productos del mercado. Por lo tanto, se introduce un coeficiente de probabilidad de retirar productos del mercado, que es calculado a través de los registros previos de retiradas y de la tasa de riesgo de seguridad para un producto particular. La función del costo potencial de retirar productos para un solo lote de producción se precisa como:

$$CR = dm * pv * \lambda * \sum_{k \in MP} \sum_{i \in LOT} YI_{ik} * ri_{ik}$$

dónde

$$0 \leq ri_{ik} \leq 1.$$

- *Definición del número de envíos requeridos durante el periodo de escasez de demanda del producto terminado.* También es igual al número de envíos totales en el ciclo de producción de un lote de productos terminado restando el número de envíos en el periodo normal y se describe como:

$$ET - EE = EP - \frac{vu - vc}{TS}$$

$$ET \leq YY * v_h v$$

$$EE \leq (1 - YY) * v_h v$$

- *Definición de la cantidad faltante de producto terminado para satisfacer la demanda.* La cantidad de producto necesaria para cumplir con la totalidad de la demanda del cliente puede ser obtenida como:

$$QF = xp * ET$$

- *Definición del costo total del inventario de producto terminado estropeado u obsoleto.*

El costo de obsolescencia se define como la penalización que reciben los fabricantes debido a que los productos no cumplen con los requerimientos definidos ($vu < vc$) en el contrato y se define como:

$$CO = \begin{cases} 0 & \text{cuando } 0 < EP \leq \frac{vu - vc}{TS} \\ \frac{dm}{QT} * cf * QF & \text{cuando } EP > \frac{vu - vc}{TS} \end{cases}$$

La anterior expresión se realiza en el modelo a través de las siguientes ecuaciones no lineales.

$$EP - \frac{vu - vc}{TS} \leq YY * v_{hv}$$

$$\frac{vu - vc}{TS} - EP \leq (1 - YY) * v_{hv}$$

$$\left(\frac{dm}{QT} * cf * QF \right) - CO \leq (1 - YY) * v_{hv}$$

$$CO \leq \left(\frac{dm}{QT} * cf * QF \right)$$

$$CO \leq YY * v_{hv}$$

Es importante destacar que en el momento de simular el modelo en el software Lingo 8.0 se presentó una no factibilidad debido a las siguientes restricciones no lineales:

$$\left(\frac{dm}{QT} * cf * QF \right) - CO \leq (1 - YY) * v_{hv}$$

$$CO \leq \left(\frac{dm}{QT} * cf * QF \right)$$

$$CO \leq YY * v_{hv}$$

Por lo que se optó por usar la siguiente expresión que de igual forma integra las tres restricciones:

$$CO = YY * \left(\frac{dm}{QT} * cf * QF \right)$$

- *Obvias.*

$$CS, CM, CR, CH, CO \geq 0$$

EP se define como una variable entera, *YI* y *YY* se definen como variables binarias.

- *Supuestos.*

$$vu > vc > vm > 0$$

$$tp > dm > 0$$

- *Función Objetivo.* El modelo propuesto soporta el hecho de que la solución óptima puede ser determinada considerando el sistema como un todo en el que los costos asociados de factores de operación, ciclo de vida y trazabilidad se incorporan dentro de un proceso de planeación de la producción. Incorporando todos los factores, el modelo integrado de planeación se describe como:

$$Min = CS + CM + CR + CH + CO$$

Considerando los costos relevantes envueltos en el sistema de producción, el modelo integrado simultáneamente optimiza el tamaño del lote de producción y la dispersión del lote de producto en orden para mejorar el rendimiento general de la producción.

8.3 Formulación Matemática

- *Definición del Tamaño de Lote de Producción del tipo de producto terminado.*

$$QT * rk_k = Qk_k \quad \forall k$$

$$Qk_k = \sum_{i \in LOT} QI_{ik} \quad \forall k$$

$$QT = EP * xp$$

$$QT \leq \frac{vu - vm}{TS} \cdot xp$$

$$QT > 0$$

- Definición de la variable binaria YI_{ik} .

$$QI_{ik} \leq YI_{ik} * cpi_{ik} \quad \forall i, \forall k$$

- Definición del periodo de tiempo de ciclo.

$$TC = EP * TS$$

- Definición del costo total de alistamiento.

$$CS = \frac{dm}{QT} * ca$$

- Definición del inventario promedio del producto terminado.

$$IP = \frac{QT^2}{2 * tp * EP * TS} + \frac{(EP + 1) * xp}{2}$$

- Definición del costo total de posesión.

$$CH = cp * \left(\frac{QT^2}{2 * tp * EP * TS} + \frac{(EP + 1) * xp}{2} \right)$$

- Definición del costo de total materias primas.

$$CM = \frac{dm}{QT} \sum_{k \in MP} \sum_{i \in LOT} QI_{ik} * ci_{ik}$$

- Definición del costo potencial total de retirar productos del mercado.

$$CR = dm * pv * \lambda * \sum_{k \in MP} \sum_{i \in LOT} YI_{ik} * ri_{ik}$$

- Definición del número de envíos requeridos durante el periodo de escasez de demanda del producto terminado.

$$ET - EE = EP - \frac{vu - vc}{TS}$$

$$ET \leq YY * v_{hv}$$

$$EE \leq (1 - YY) * v_{hv}$$

- Definición de la cantidad faltante de producto terminado para satisfacer la demanda.

$$QF = xp * ET$$

- Definición del costo total del inventario de producto terminado estropeado u obsoleto.

$$EP - \frac{vu - vc}{TS} \leq YY * v_{hv}$$

$$\frac{vu - vc}{TS} - EP \leq (1 - YY) * v_{hv}$$

$$CO = YY * \left(\frac{dm}{QT} * cf * QF \right)$$

- Obvias.

$$CS, CM, CR, CH, CO \geq 0$$

EP se define como una variable entera, YI y YY se definen como variables binarias.

- *Supuestos.*

$$vu > vc > vm > 0$$

$$tp > dm > 0$$

- *Función Objetivo.*

$$Min = CS + CM + CR + CH + CO$$

9. CASO DE ESTUDIO

La finalidad de este caso de estudio es validar el modelo propuesto en la investigación, para esto se procederá a la documentación del caso Producción de Salchicha Tipo 1. Debido a la naturaleza de este estudio fue necesario investigar sobre procesos de producción que se adecuen a las condiciones enunciadas con antelación, por lo que se optó por la fabricación de productos cárnicos y embutidos, debido a que el entorno del proceso se adapta de mejor manera a la metodología que se pretende desarrollar, por lo tanto es necesario definir algunos aspectos como lo son los cortes del cerdo.

- *Cortes del Cerdo.* El término cortes primarios se refiere a los cortes de base realizados en un animal cuando es sacrificado inicialmente. Las carnicerías a su vez convierten los cortes primarios en las chuletas, asados y otros cortes vendidos al por menor. Los cortes al por menor del mismo corte primario generalmente comparten rasgos similares como lo es su calidad, por lo que al hacer las compras esto ayuda a comprender las características de los cortes primarios de cerdo. Para la elaboración de la salchicha tipo 1 se utilizarán los siguientes cortes secundarios de cerdo:

- ❖ Lomo
- ❖ Solomillo
- ❖ Filete
- ❖ Tocino

- *Cortes del Pollo.* Para la fabricación de la salchicha de tipo 1 se necesita carne de pollo con un alto grado de contenido magro por lo que el corte adecuado dentro del proceso de producción de la salchicha es la pechuga, por lo que se tomará como una de las materias primas dentro de la fabricación del producto terminado. Debido a que la proporción de otros insumos con respecto a la de carne de cerdo y carne de pollo dentro del proceso de fabricación de la salchicha tipo 1 son mínimos, se consideró no tenerlos en cuenta dentro del proceso de definición del tamaño de lote de producción de producto terminado.

- *Composición del producto.*

	SALCHICHAS COCIDAS TIPO 1	Proporción	Kg / Ingred.
INGREDIENTES	Filete	0,20	
	Solomillo	0,20	
	Tocino	0,15	
	Lomo	0,20	
	Pechuga de Pollo	0,20	
	CARNES	0,95	0,152
	Agua		
	Almidón de trigo		
	Proteína de Soja		
	Sal		
	Azúcar		
	Emulgentes (E-452i)		
	Especias		
	Potenciador del sabor (E-621)		
	Hidrolizado de proteínas		
	Antioxidantes (E-301, E-331)		
	Oleoresina de pimentón		
	Conservadores (E-250, E-252)		
	Colorante (E-120)		
	AHUMADO NATURAL		
	OTROS	0,05	0,008
PESO / Unid (Kg)	0,16	1	0,160

Tabla 02. Composición del producto
Fuente. Autor

- *Lista de Materiales de producto terminado.* A continuación se ilustrará la lista de materiales a utilizar dentro del proceso de elaboración de la salchicha de tipo 1, con este se pretende facilitar la visualización de los flujos además del hecho de que se utilizan diversos lotes de materia prima para un mismo tipo de materia prima.

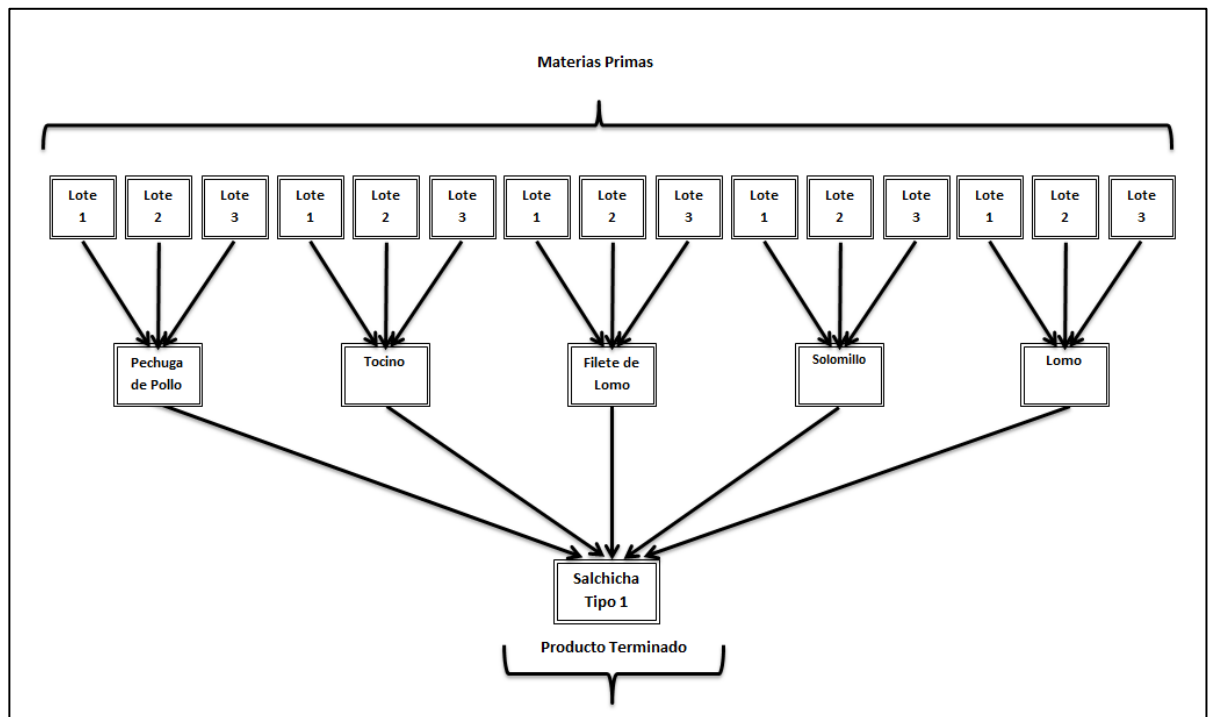


Figura 10. Modelo Gráfico de la Dispersión de la Salchicha Tipo 1 (Lista de Materiales)

Fuente. Autor

Para la modelación del estudio de caso se asumirá la siguiente notación para las materias primas:

- Materia prima de tipo 1 = Lomo
- Materia prima de tipo 2 = Solomillo
- Materia prima de tipo 3= Filete
- Materia prima de tipo 4 = Tocino
- Materia prima de tipo 5 = Pechuga de pollo

- *Riesgo de las materias primas utilizadas.* En seguida se detallarán algunos de los riesgos que pueden presentarse en el manejo de las materias primas utilizadas dentro del proceso de elaboración, con las que se determina el riesgo para cada lote de materia prima a utilizarse dentro del proceso.

	PELIGRO	FRECUENCIA	GRAVEDAD	NÚMERO EXPUESTO
PELIGROS BIOLÓGICOS	Presencia de patógenos y organismos que deterioran la carne causados por pobres controles por parte del proveedor.	Ocasional	Moderada	Todos
	Presencia de patógenos y organismos que deterioran la carne causados por mal uso de la temperatura por parte del proveedor o el transportador.	Ocasional	Moderada	Todos
	Producto entregado fuera del ciclo vida.	Raro	Moderada	Todos
PELIGROS QUÍMICOS	Contaminación de la materia prima por productos de limpieza utilizados en la asepsia del vehículo.	Raro	Moderada	Algunos
PELIGROS FÍSICOS	La contaminación debido a cuerpos extraños, por ejemplo el embalado sucio o deteriorado causado por los controles inadecuados del proveedor al producto o controles de cuerpos extraños, por ejemplo la presencia de residuos metálicos.	Ocasional	Moderada	Algunos

Tabla 03. Riesgos en la utilización de carne como materia prima.

Fuente. Autor

- *Parámetros.*

	PARÁMETRO	VALOR
<i>vu</i>	Vida útil producto (días)	85
<i>vc</i>	Duración contratada (días)	75
<i>vm</i>	Duración mínima (días)	60
<i>dm</i>	Demanda (diaria)	3450
<i>tp</i>	Tasa de producción (diaria)	3500
<i>vhv</i>	Valor muy alto	120000
<i>xp</i>	Cantidad de producto terminado por entrega (unid/envío)	500
<i>ts</i>	Tiempo entre envíos sucesivos	4
λ	Coefficiente de probabilidad de retirar un producto del mercado	0,15

Tabla 04. Parámetros

Fuente. Autor

- ❖ Capacidad del lote disponible i de materia prima de tipo k .

MATERIA PRIMA:						
LOTE:	cpi_{ik}	1	2	3	4	5
	1	160	120	170	135	145
	2	160	120	170	135	145
	3	160	120	170	135	145
	4	160	120	170	135	145
	5	160	120	170	135	145
	6	160	120	170	135	145

Tabla 05. Capacidad de los lotes disponibles de materia prima.
Fuente. Autor

- ❖ Riesgo de la materia prima de tipo k del lote disponible i .

MATERIA PRIMA:						
LOTE:	ri_{ik}	1	2	3	4	5
	1	0,3	0,6	0,2	0,7	0,4
	2	0,1	0,4	0,3	0,8	0,5
	3	0,2	0,1	0,4	0,1	0,7
	4	0,5	0,3	0,1	0,6	0,6
	5	0,6	0,2	0,5	0,3	0,1
	6	0,4	0,5	0,6	0,2	0,3

Tabla 06. Riesgos de las materias primas.
Fuente. Autor

- ❖ Rendimiento de la materia prima de tipo k en un producto terminado.

MATERIA PRIMA:					
rk_k	1	2	3	4	5
	0,25	0,25	0,2	0,1	0,2

Tabla 07. Rendimientos por tipo de materia prima
Fuente. Autor

- *Parámetros de Costos.*

PARÁMETRO		VALOR
pv	Precio de venta	\$ 6.500
ca	Costo de alistamiento unitario	\$ 85.000.000
cp	Costo de posesión unitario	\$ 1.000
cf	Costos de penalización por articulo faltante	\$ 4.500

Tabla 08. Parámetros de costos

Fuente. Autor

- ❖ Costo de materia prima de tipo k del lote i .

MATERIA PRIMA:						
LOTE:	ci_{ik}	1	2	3	4	5
	1	\$ 18.000	\$ 30.000	\$ 28.000	\$ 43.000	\$ 61.000
	2	\$ 19.000	\$ 35.000	\$ 25.000	\$ 48.000	\$ 59.000
	3	\$ 22.000	\$ 34.000	\$ 23.000	\$ 40.000	\$ 60.000
	4	\$ 17.000	\$ 29.000	\$ 26.000	\$ 51.000	\$ 64.000
	5	\$ 16.000	\$ 36.000	\$ 29.000	\$ 52.000	\$ 65.000
	6	\$ 23.000	\$ 27.000	\$ 30.000	\$ 29.000	\$ 55.000

Tabla 09. Costo de la materia prima

Fuente. Autor

10. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Para la implementación del caso estudio se utilizó el software Lingo® Versión 8.0, en donde se cargaron los parámetros y las restricciones establecidas en el modelo propuesto; en la formulación de este caso se generaron 79 variables y 62 restricciones.

10.1 Implementación en Lingo

A continuación se adjunta el modelo matemático junto a la modelación en el lenguaje lingo:

MODELO MATEMÁTICO	PROGRAMACIÓN EN LINGO
$Min = CS + CM + CR + CH + CO$	MIN = CS + CM + CR + CH + CO;
$ET - EE = EP - \frac{vu - vc}{ts}$	ET - EE = EP - ((vu - vc)/ts);
$QT * rk_k = Qk_k \quad \forall k$	@FOR(MP(k): rk(k)* QT = QK(k));
$Qk_k = \sum_{i \in LOT} QI_{ik} \quad \forall k$	@FOR(MP(k): @SUM(LOT(i): QI(i,k)) = QK(k));
$QI_{ik} \leq YI_{ik} * cpi_{ik} \quad \forall i, \forall k$	@FOR(LOTMP(i,k): QI(i,k) <= YI(i,k) * cpi(i,k));
$QT = EP * xp$	QT = EP * xp;
$QT \leq \frac{vu - vm}{ts} \cdot xp$	QT <= (((vu - vm)* xp)/ts);
$QT > 0$	QT > 0;
$TC = EP * ts$	TC = EP * ts;
$CS = \frac{dm}{QT} * ca$	CS = (dm / QT) * ca;

$CH = cp * \left(\frac{QT^2}{2 * tp * EP * ts} + \frac{(EP + 1) * xp}{2} \right)$	$CH = cp * (((QT^2)/(2 * tp * EP * ts)) + ((xp * (EP + 1))/2));$
$CM = \frac{dm}{QT} \sum_{k \in MP} \sum_{i \in LOT} QI_{ik} * ci_{ik}$	$CM = (dm / QT) * @SUM(LOTMP(i,k): QI(i,k) * ci(i,k));$
$CR = dm * pv * \lambda * \sum_{k \in MP} \sum_{i \in LOT} YI_{ik} * ri_{ik}$	$CR = dm * pv * lamda * @SUM(LOTMP(i,k): YI(i,k) * ri(i,k));$
$QF = xp * ET$	$QF = xp * ET;$
$EP - \frac{vu - vc}{ts} \leq YY * vhw$	$EP - ((vu - vc)/ts) <= YY * vhw;$
$\frac{vu - vc}{ts} - EP \leq (1 - YY) * vhw$	$((vu - vc)/ts) - EP <= (1 - YY) * vhw;$
$CO = YY * \left(\frac{dm}{QT} * cf * QF \right)$	$CO = YY * ((dm/QT) * cf * QF);$
$ET \leq YY * vhw$	$ET <= YY * vhw;$
$EE \leq (1 - YY) * vhw$	$EE <= (1 - YY) * vhw;$
$DL = \sum_{k \in MP} \sum_{i \in LOT} YI_{ik}$	$DL = @SUM(LOTMP(i,k): YI(i,k));$

Tabla 10. Modelo de implementación en Lingo
Fuente. Autor

10.2 Análisis de los resultados iniciales

La función objetivo del caso de estudio propuesto dió como resultado \$ 532.842.600, a continuación se detallará los resultados de las variables. El tamaño de lote de producción es de 5000 unidades de producto terminado que serán entregadas en 10 envíos de producto terminado de 500 unidades por entrega cada cuatro días, la dispersión del lote de producción es de 28, que es el número de lotes de materias primas utilizados para completar con la orden de producción.

Se pudo identificar que la función de costo de materias primas es la que mayor participación hace de la función de costo total con un monto de \$ 288.111.200, de la misma forma el costo potencial de una retirada de productos del mercado es de \$ 84.035.250.

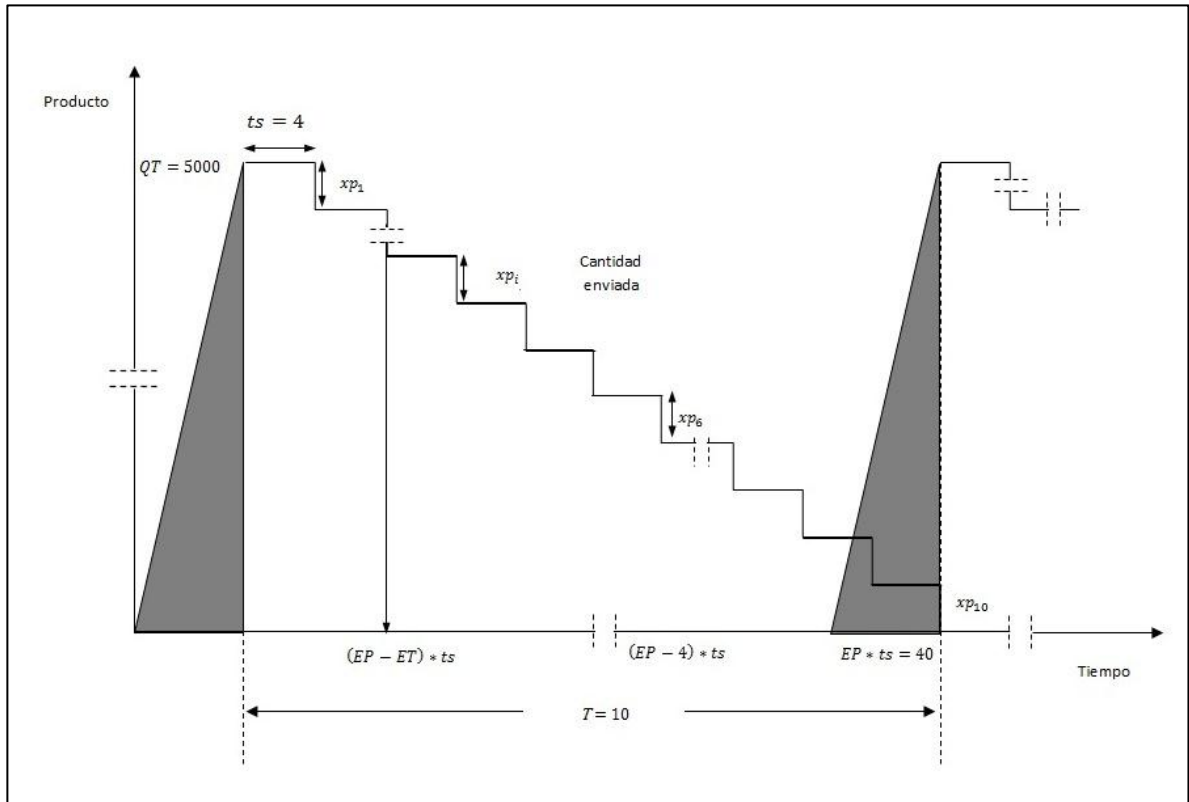


Figura 11. Gráfica del resultado inicial.
Fuente. Autor

El número de ordenes enviadas que está dado por dm/QT es de 1,69 por lo que el costo de ordenar es de \$ 143.650.000, el costo de posesión del inventario es de \$ 2.786.765 y por último, la cantidad de envíos que llegan fuera del tiempo de ciclo es de 3,75, la cantidad de producto terminado que no satisface la demanda del cliente debido a que llega fuera del ciclo de vida pactado con el cliente es de 1875 unidades por lo que el costo de obsolescencia tiene un valor de \$ 14.259.380, los resultados de las variables se representan en la figura 11.

10.3 Escenario 1. Incremento en *x_p*.

Para el desarrollo del Escenario 1 se evaluó el modelo variando el tamaño de la cantidad de producto terminado enviado por entrega, este valor se multiplicó por un porcentaje que va desde 5 incrementándose en 5 unidades porcentuales hasta alcanzar el 150 por ciento, los resultados obtenidos se expresan en la Tabla 11.

<i>% x_p</i>	<i>x_p</i>	<i>QT</i>	<i>DL</i>	<i>CT</i>
5%	25	275	5	\$ 2.892.028.000
10%	50	550	5	\$ 1.586.269.000
15%	75	825	5	\$ 1.151.117.000
20%	100	1100	9	\$ 945.511.300
25%	125	1375	9	\$ 819.795.700
30%	150	1650	10	\$ 737.132.900
35%	175	1925	14	\$ 684.963.700
40%	200	2200	14	\$ 643.122.200
45%	225	2475	14	\$ 610.536.600
50%	250	2750	18	\$ 591.531.400
55%	275	3025	19	\$ 574.858.400
60%	300	3300	19	\$ 559.083.700
65%	325	3575	23	\$ 557.449.000
70%	350	3850	23	\$ 546.748.400
75%	375	4125	23	\$ 537.495.100
80%	400	4000	23	\$ 539.400.600
85%	425	4250	25	\$ 538.135.100
90%	450	4050	23	\$ 535.136.700
95%	475	4750	28	\$ 538.103.300
100%	500	5000	28	\$ 532.842.600
105%	525	4200	23	\$ 527.163.800
110%	550	4950	28	\$ 531.241.900
115%	575	4025	23	\$ 528.482.300
120%	600	4200	23	\$ 522.962.100
125%	625	5000	28	\$ 526.972.900
130%	650	3900	23	\$ 528.712.100
135%	675	4050	23	\$ 523.643.800
140%	700	4200	23	\$ 518.944.200
145%	725	4350	26	\$ 526.244.900
150%	750	4500	28	\$ 529.874.800

Tabla 11. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en *x_p*.

Fuente. Autor

Para brindar un mayor entendimiento de cada escenario realizado se recurrió al uso de graficas de línea con marcadores de Microsoft Excel en donde se validó el comportamiento del tamaño de lote de producción, la dispersión del lote y el costo total frente a las variaciones realizadas en cada parámetro seleccionado.

Para este escenario en el que se modificó la cantidad de producto enviado pactado con el cliente, después de realizar el análisis numérico y gráfico de la Figura 12 se pudo identificar que entre mayor sea la cantidad de producto terminado enviado por entrega mayor será el valor que tome el tamaño del lote.

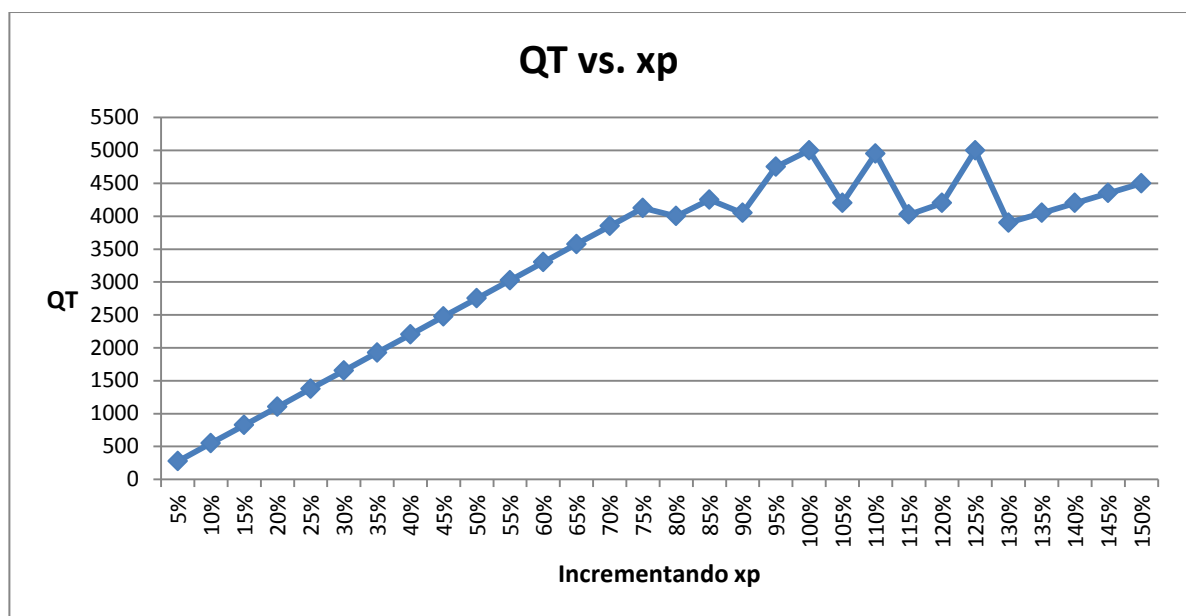


Figura 12. Tamaño de lote de producción vs. Variaciones en % de x_p .
Fuente. Autor

Del mismo modo se logró concluir que el tamaño de lote se incrementa en múltiplos del valor de x_p , esta situación puede apreciarse en la Figura 13. En el caso en el que la cantidad de producto terminado por entrega pactado con el cliente es igual a 25 unidades el tamaño del lote de producción es de 275 unidades, que resulta de multiplicar $25 \cdot 11$, cuando x_p es igual a 50 unidades el valor de QT es de 500, que es $50 \cdot 10$, cuando x_p toma el valor de 75 unidades el valor del tamaño del lote es de 825, que es el producto de $75 \cdot 11$ y así con los valores.

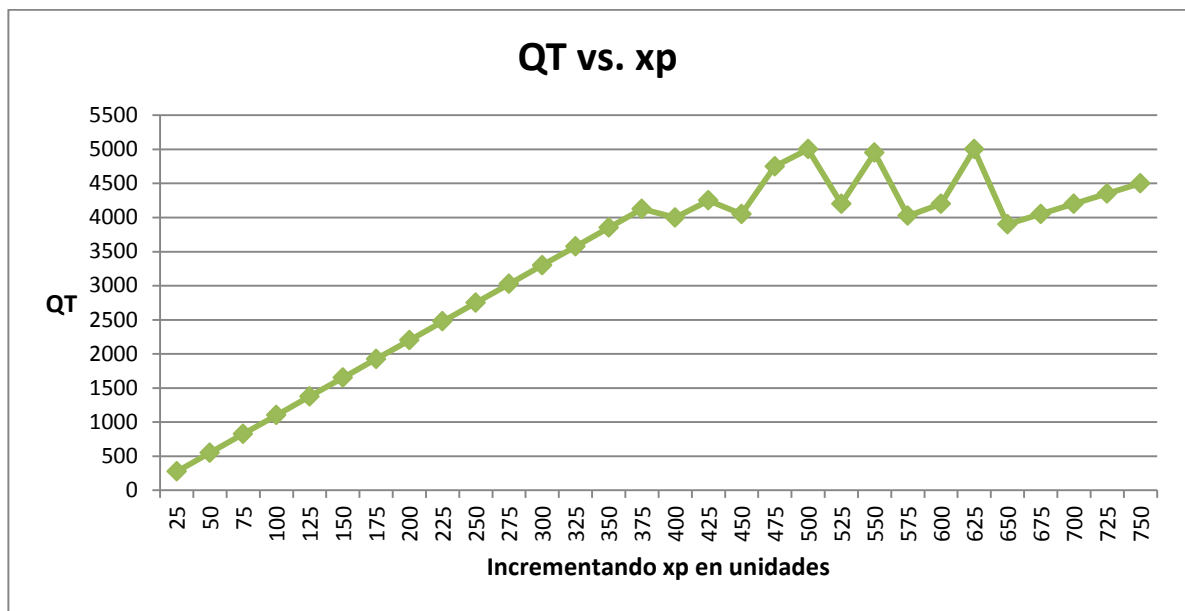


Figura 13. Tamaño de lote de producción vs. Variaciones en unidades de *x_p*.
Fuente. Autor

Con respecto a la dispersión del lote de producción en el presente escenario se logró concluir que al incrementarse el tamaño de lote de producción se amplía la dispersión del lote ya que se necesita un mayor número de lotes de un mismo tipo de materias primas para cumplir con la orden de producción, este comportamiento puede apreciarse en la Figura 14.

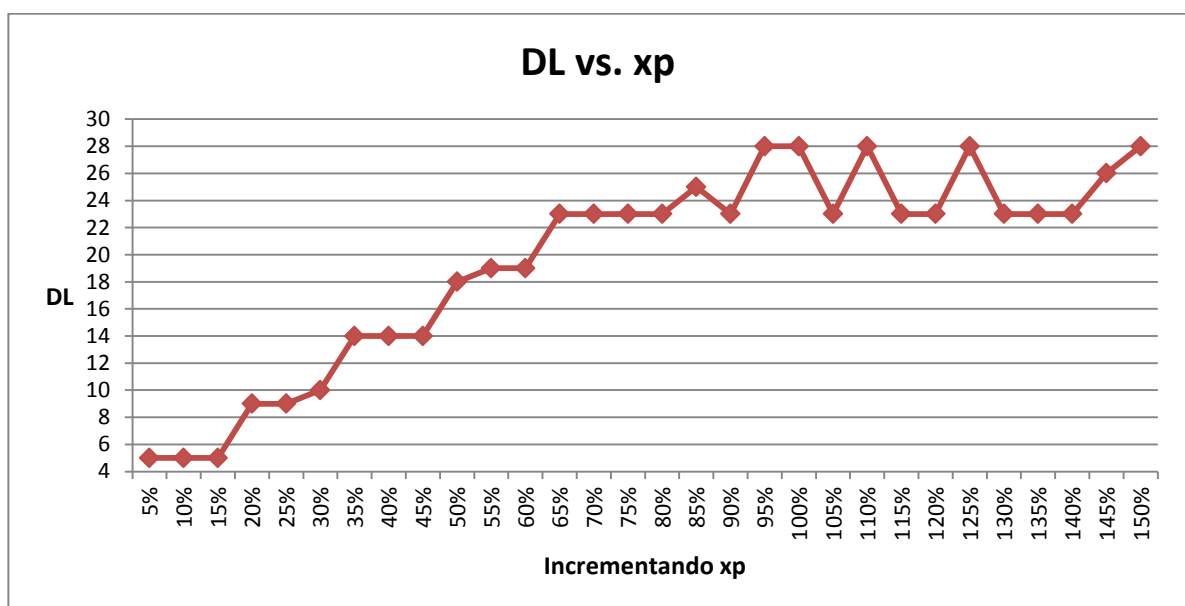


Figura 14. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en *x_p*.
Fuente. Autor

Al realizar el análisis de la función de costo total alterando la cantidad de producto terminado enviado por entrega es posible inferir que para valores reducidos de x_p menor será el tamaño del lote, por lo que la dispersión del lote de producción se reduce puesto que se requiere menor número de lotes disponibles de una materia prima en particular; al reducirse el valor de la dispersión se presenta un detrimento en el costo potencial de retirar productos del mercado debido a que la variabilidad de los lotes se disminuye y por ende su riesgo. Sin embargo, debido a que el número de ordenes está dado por dm/QT , el número de ordenes se incrementa considerablemente elevando el costo de alistamiento total y por ende el costo total, parte del análisis comentado con antelación se puede observar en la Figura 15.

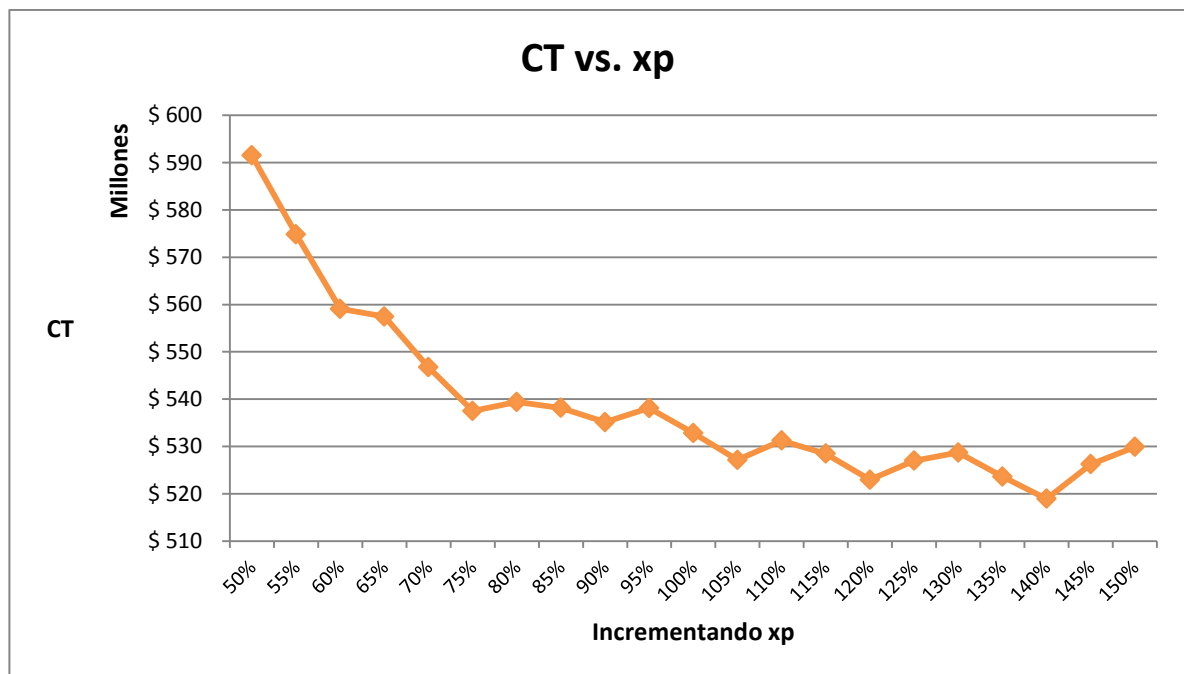


Figura 15. Costo total vs. Variaciones en x_p .
Fuente. Autor

10.4 Escenario 2. Variación en ri_{ik} .

De la misma forma en que se realizó el Escenario 1 se efectuó el Escenario número 2, en donde todos los parámetros se mantienen constantes exceptuando los riesgos de cada lote i disponible de materia prima de tipo k . Cada valor del riesgo o peligro por lote disponible se multiplicó por un determinado porcentaje que va desde 25 por ciento incrementándose en 25 unidades porcentuales hasta 500 por ciento, los resultados conseguidos se presentan en la Tabla 12.

<i>ri</i>	<i>QT</i>	<i>DL</i>	<i>CT</i>
25%	5000	28	\$ 469.816.200
50%	5000	28	\$ 490.825.000
75%	5000	28	\$ 511.833.800
100%	5000	28	\$ 532.842.600
125%	4000	23	\$ 548.962.700
150%	4000	23	\$ 564.262.500
175%	4000	23	\$ 579.298.200
200%	4000	23	\$ 593.869.200
225%	3500	21	\$ 606.276.200
250%	3500	21	\$ 618.634.300
275%	3500	21	\$ 630.992.400
300%	3500	21	\$ 643.350.600
325%	2500	14	\$ 651.943.400
350%	2500	14	\$ 657.916.500
375%	2500	14	\$ 663.889.600
400%	2500	14	\$ 669.862.700
425%	2500	14	\$ 675.835.800
450%	2500	14	\$ 681.808.900
475%	2500	14	\$ 687.782.000
500%	2500	14	\$ 693.755.100

Tabla 12. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en ri_{ik} .
Fuente. Autor

En el desarrollo del presente escenario se identificó por medio de la Figura 16, que al reducirse el valor de los riesgos de los lotes disponibles de materia prima mayor es el tamaño del lote de producción, debido a que mayor será el grupo de lotes adecuados para generar el lote de producción, disminuyendo el costo potencial de retirar productos del mercado. De la misma forma, con el objetivo de reducir el costo de ordenar, el tamaño del lote de producción se incrementa.

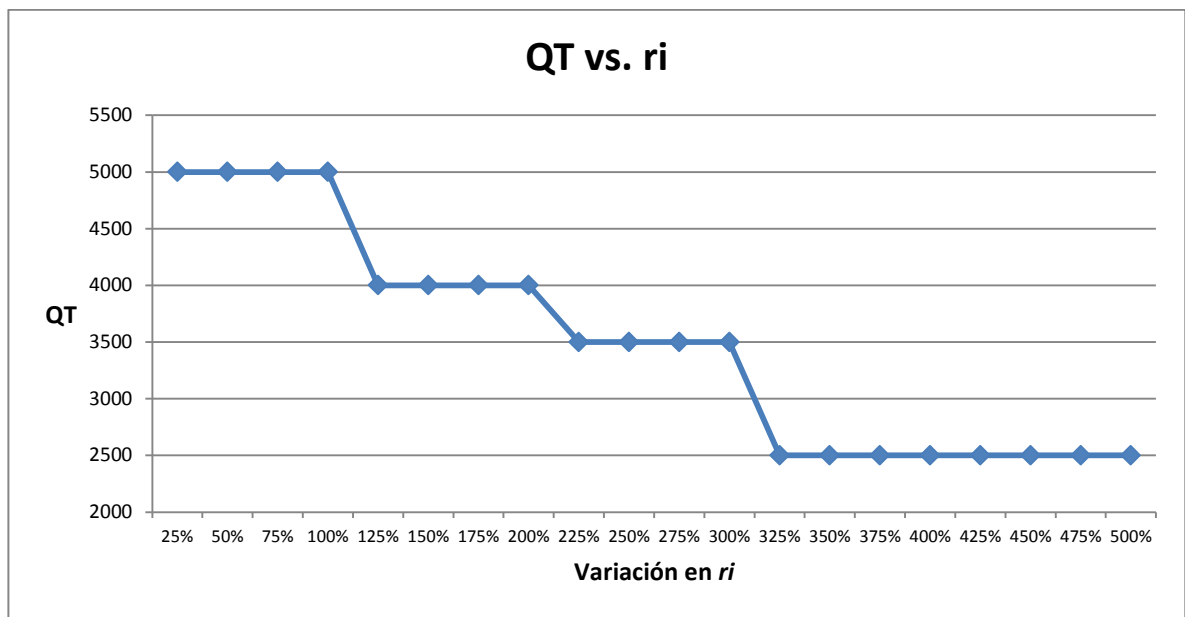


Figura 16. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en ri_{ik} .
Fuente. Autor

Para el Escenario 2, en donde los riesgos de las materias primas disponibles se consideran variables, al incrementarse el peligro la dispersión se disminuye, debido principalmente a que el modelo se limita a seleccionar solo los lotes que tengan riesgos bajos con el objetivo de reducir el costo potencial de retirar productos del mercado. Esta afirmación puede apreciarse en la Figura 17.

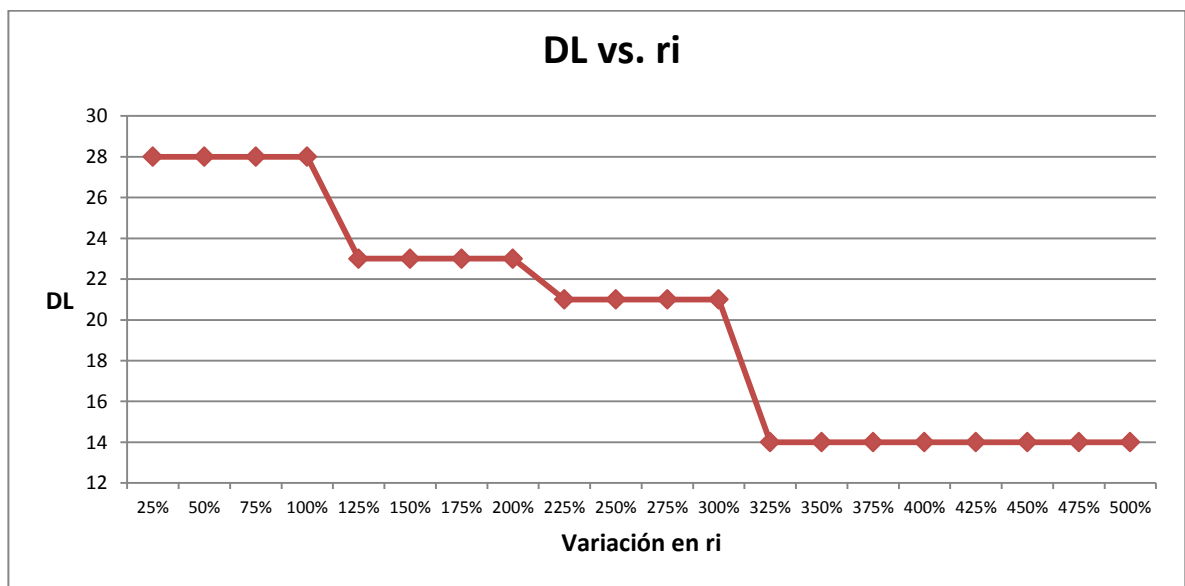


Figura 17. Dispersión del lote de producción vs Variaciones en ri_{ik} .
Fuente. Autor

Ahora se presentará el análisis de la función de costo total para el presente contexto en donde los riesgos de los lotes de materia prima se consideran variables, se determina que al incrementarse el riesgo de los lotes disponibles de materia prima, mayor será el costo total de la producción afectado por el incremento del costo potencial de retirar productos del mercado. Así mismo, al incrementarse el valor del peligro de los lotes disponibles de las materias primas el tamaño del lote se reduce por lo que el costo de alistamiento también se incrementa amplificando el valor del costo total, esta situación se puede identificar en la Figura 18.

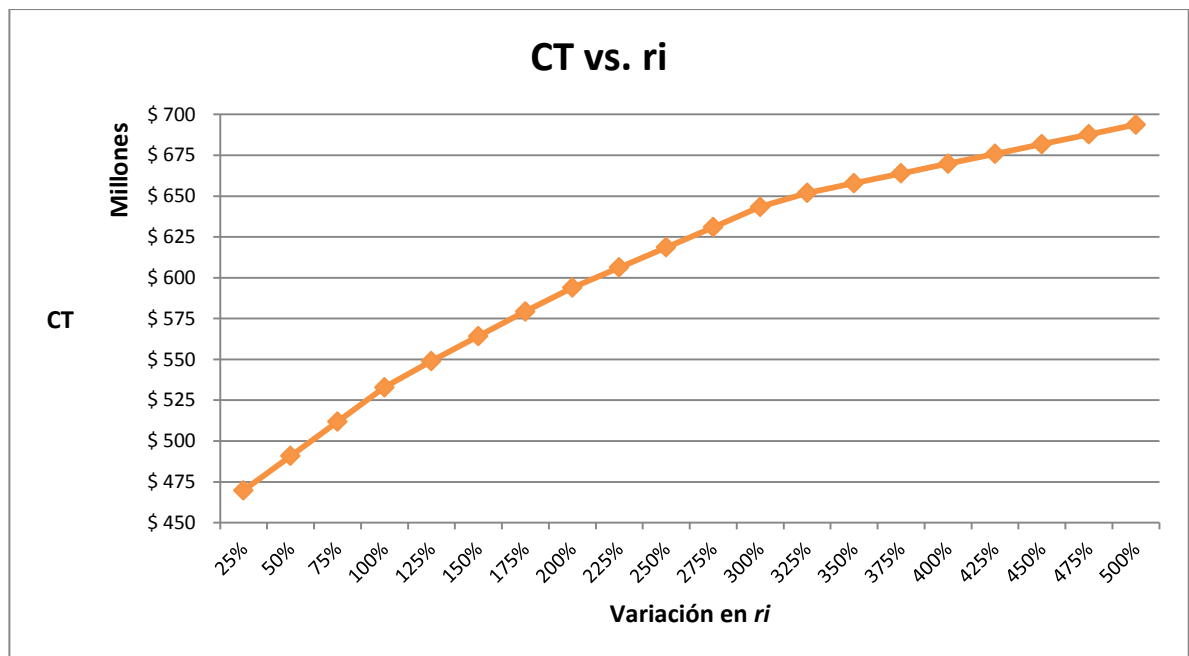


Figura 18. Costo total vs. Variaciones en r_{ik} .
Fuente. Autor

10.5 Escenario 3. Variación en λ .

Para la elaboración del Escenario 3 se optó por variar el coeficiente de retirar productos del mercado y donde las demás medidas se mantuvieron constantes. Para el análisis se multiplicó el coeficiente de retirar productos del mercado por un porcentaje que tomará valores que van desde 25 por ciento incrementándose en 25 unidades porcentuales hasta alcanzar el 500 por ciento, los resultados se presentan en la Tabla 13.

λ	QT	DL	CT
25%	5000	28	\$ 469.816.200
50%	5000	28	\$ 490.825.000

75%	5000	28	\$ 511.833.800
100%	5000	28	\$ 532.842.600
125%	4000	23	\$ 548.962.700
150%	4000	23	\$ 564.262.500
175%	4000	23	\$ 579.298.200
200%	4000	23	\$ 593.869.200
225%	3500	21	\$ 606.276.200
250%	3500	21	\$ 618.634.300
275%	3500	21	\$ 630.992.400
300%	3500	21	\$ 643.350.600
325%	2500	14	\$ 651.943.400
350%	2500	14	\$ 657.916.500
375%	2500	14	\$ 663.889.600
400%	2500	14	\$ 669.862.700
425%	2500	14	\$ 675.835.800
450%	2500	14	\$ 681.808.900
475%	2500	14	\$ 687.782.000
500%	2500	14	\$ 693.755.100

Tabla 13. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs Variaciones en λ .
Fuente. Autor

Los resultados del tamaño de lote, la dispersión del lote y la función de costo total son análogos a los del escenario 2 debido a que tanto el riesgo de los lotes de materia prima como el coeficiente de retirar productos del mercado hacen parte de la función del costo potencial de retirar productos del mercado y se multiplican entre si. Aunque se realizaron corridas de manera independiente en el programa Lingo para el escenario 2 y el escenario 3 debido a que los porcentajes utilizados fueron iguales los resultados fueron similares para la Figura 18, 19 y 20.

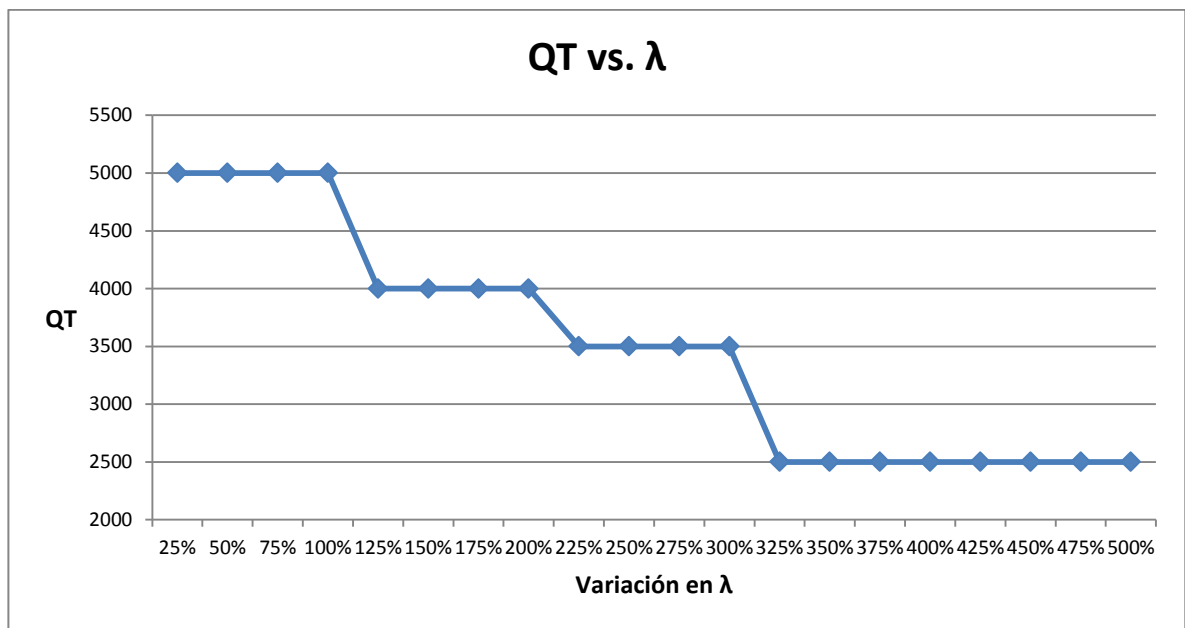


Figura 19. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en λ .
Fuente. Autor

Al reducirse el valor del coeficiente de retirar productos del mercado el tamaño de lote de producción se incrementa, de la misma forma lo hace la dispersión del lote y puede apreciarse en la Figura 20.

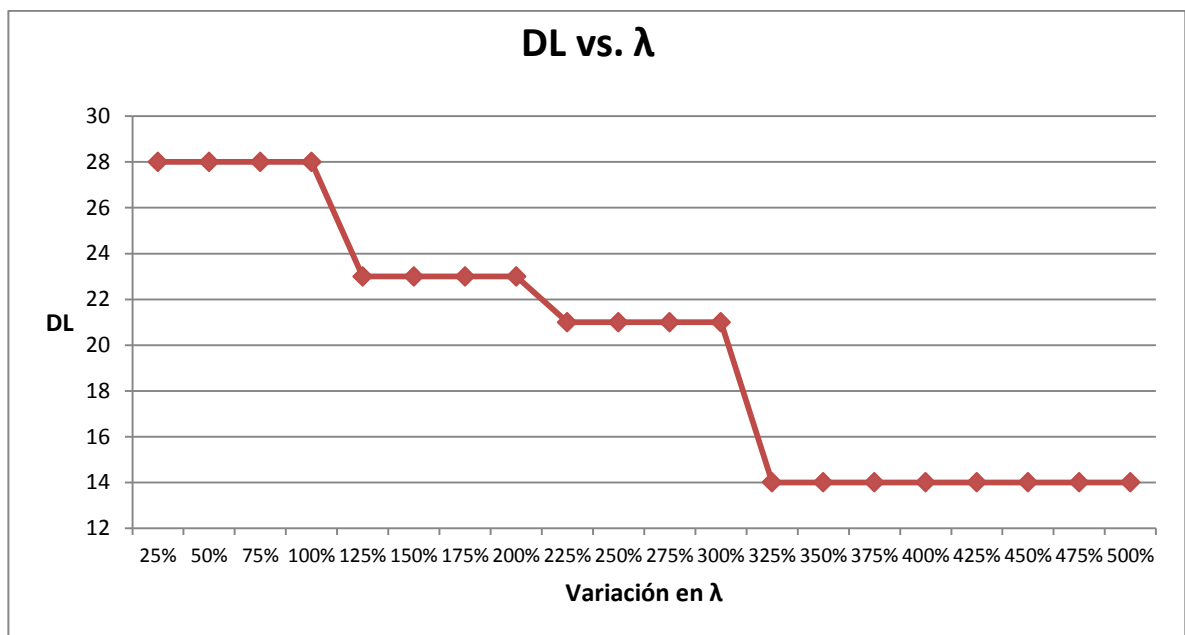


Figura 20. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en λ .
Fuente. Autor

Al elevarse el coeficiente de retirar productos del mercado el costo total de producción se incrementa de la misma forma al reducirse el tamaño del lote de producción el costo de alistamiento se acrecienta aumentando el valor del costo total, este comportamiento se distingue en la Figura 21.

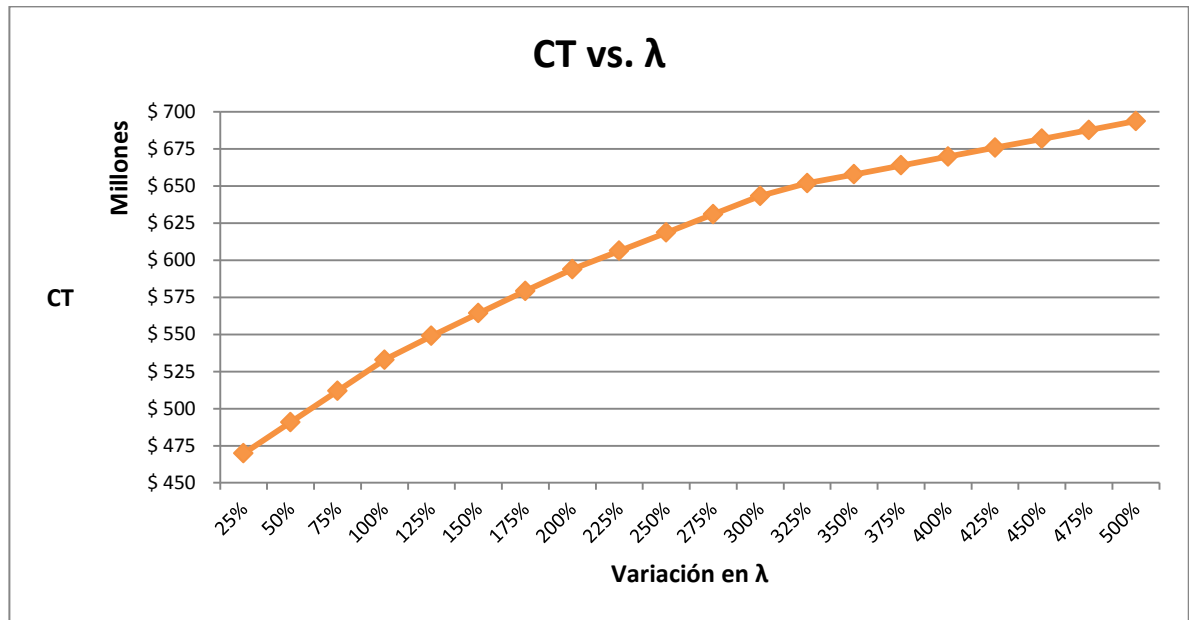


Figura 21. Costo total vs. Variaciones en λ .
Fuente. Autor

10.6 Escenario 4. Variación en cpi_{ik} .

El Escenario número 4 las capacidades de cada lote i disponible de materia prima de tipo k se consideran distintas. Los valores de cpi_{ik} utilizados para el cálculo inicial del estudio de caso se multiplican por un porcentaje que va desde diez incrementándose en cinco unidades porcentuales hasta llegar a ciento cincuenta por ciento. Después de correr el modelo alterando la capacidad de los lotes de materias primas disponibles se obtuvo los datos que se presentan en la Tabla 14.

cpi	QT	DL	CT
10%	500	28	\$ 1.809.150.000
15%	500	19	\$ 1.760.626.000
20%	1000	28	\$ 1.091.154.000
25%	1000	23	\$ 1.062.363.000
30%	1500	28	\$ 851.990.800
35%	1500	26	\$ 837.694.800

40%	2000	28	\$ 732.536.200
45%	2000	28	\$ 727.409.100
50%	2500	28	\$ 660.964.800
55%	2500	28	\$ 656.863.200
60%	3000	28	\$ 613.335.200
65%	3000	28	\$ 609.917.200
70%	3500	28	\$ 583.460.600
75%	3500	28	\$ 580.530.800
80%	4000	28	\$ 562.306.300
85%	3500	23	\$ 555.919.600
90%	4500	28	\$ 545.909.400
95%	4000	25	\$ 542.242.300
100%	5000	25	\$ 532.842.600
105%	5000	28	\$ 530.791.800
110%	4500	23	\$ 518.090.600
115%	4500	23	\$ 516.145.700
120%	5000	23	\$ 505.801.700
125%	5000	23	\$ 504.051.300
130%	5000	23	\$ 502.300.900
135%	5500	23	\$ 494.202.100
140%	5500	23	\$ 492.610.800
145%	5500	23	\$ 491.019.500
150%	5000	19	\$ 484.318.500

Tabla 14. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en cpi_{ik} .
Fuente. Autor

La Figura 22 permite afirmar que al reducir las capacidades de los lotes disponibles de materia prima el tamaño del lote de producción se disminuye, debido a que al comprimir la capacidad de los lotes disponibles menor será la capacidad máxima por cada materia prima de tipo k que restringe de manera directa el valor que puede tomar el tamaño del lote de producción.

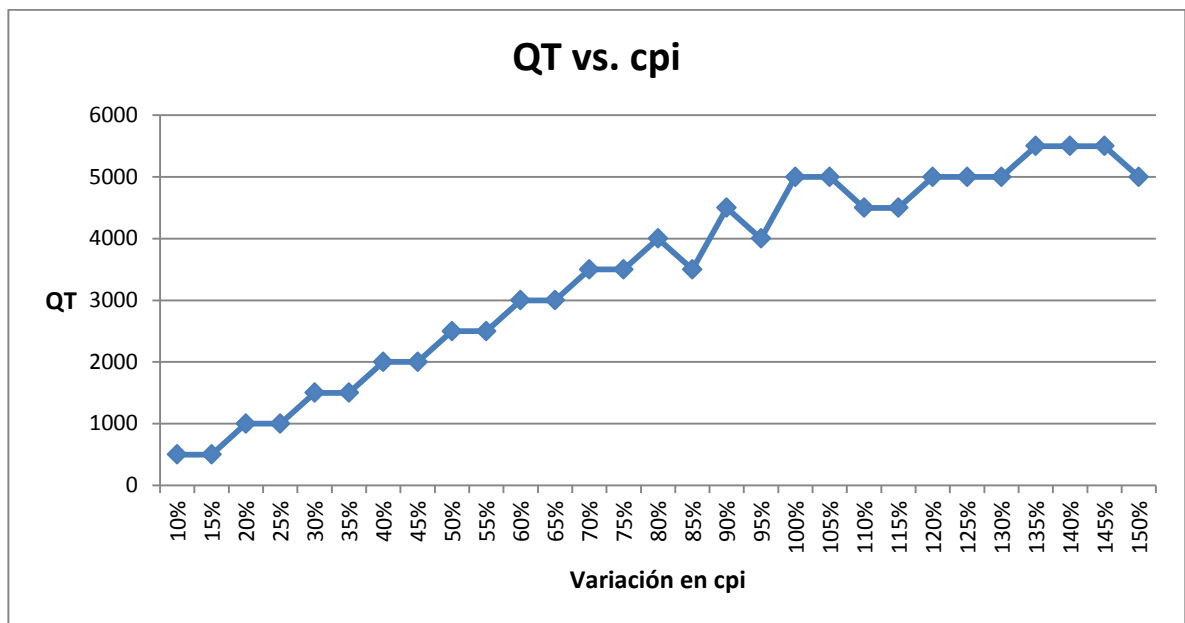


Figura 22. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en cpi_{ik} .

Fuente. Autor

De la figura 23 se puede inferir que al reducir la capacidad de los lotes disponibles se deben tomar cantidades de varios lotes para un mismo tipo de materia prima con el objetivo de completar una orden de producción. La dispersión del lote se incrementa cuando las capacidades de los lotes de materias primas son bajas y se reduce cuando las capacidades de los lotes disponibles aumentan.

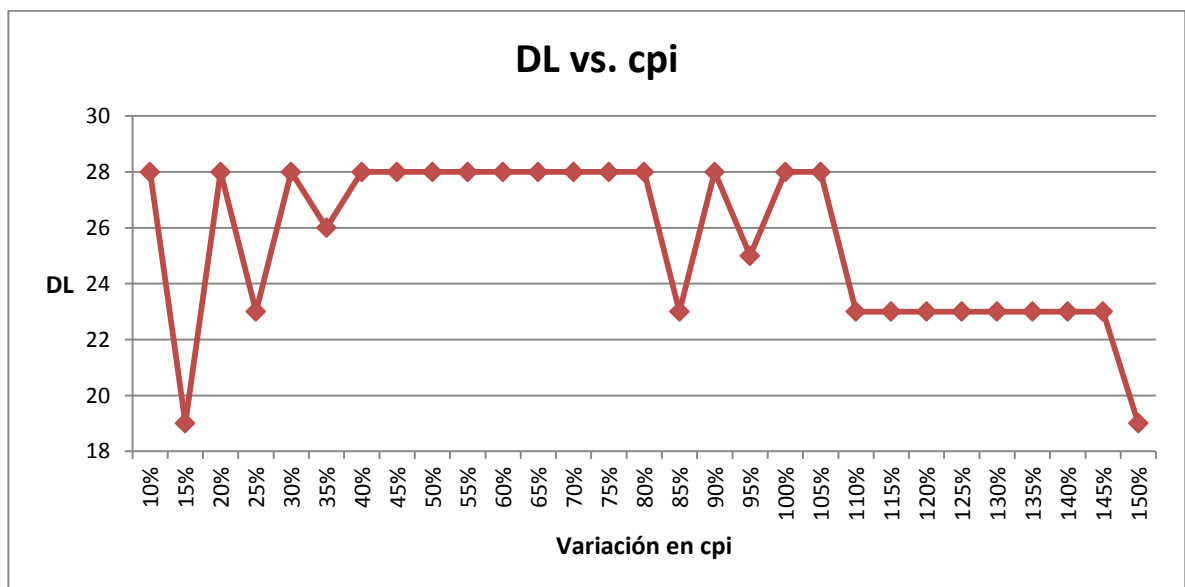


Figura 23. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en cpi_{ik} .

Fuente. Autor

No obstante en la Figura 23, en el intervalo en el que las capacidades de los lotes disponibles de materia prima se multiplican entre 10% y 40% y en el intervalo entre 80% y 100% se presentan unos resultados atípicos en los que la dispersión sufre unos grandes cambios por lo que se realizó un análisis específico el cual se comenta a continuación.

Cabe recordar que de acuerdo a los resultados obtenidos en el Escenario 1 el tamaño del lote de producción toma valores múltiplos de la cantidad de producto terminado enviado por entrega al cliente, que para este caso toma el valor de 500 unidades. Se realizó la argumentación para dos puntos como los son 10% y 15% de la Figura 23 puesto que este análisis se aplica para los demás, se puede observar una gran variación en la dispersión del lote cuando se incrementa la capacidad de 10 a 15 por ciento, la dispersión se disminuye en 9 unidades debido a que las capacidades de los lotes disponibles i de materia prima de tipo k aumentan en 5 unidades porcentuales, lo suficiente para reducir el número de lotes de materia prima necesarios para fabricar el lote de producción y sin embargo no lo suficiente para incrementar el tamaño del lote de producción hasta.

En la Tabla 15 es posible apreciar la capacidad de los lotes disponibles por tipo de materia prima, su sumatoria que corresponde a la capacidad total por tipo, y la capacidad dividida por su respectivo rendimiento que representa cuantas unidades dispone cada tipo de materia prima para componer el tamaño del lote de producción.

MATERIA PRIMA:						
LOTE:	cpi_{ik}	1	2	3	4	5
	1	21	22	17	14	17.5
	2	21	22	17	14	17.5
	3	21	22	17	14	17.5
	4	21	22	17	14	17.5
	5	21	22	17	14	17.5
	6	21	22	17	14	17.5
	Σcpi_k	126	132	102	84	105
	$\Sigma cpi_k/rk_k$	504	528	510	840	525

Tabla 15. Capacidad lotes de materia prima al 10%.

Fuente. Autor

En la Tabla 16 se observan las capacidades de los lotes disponibles de materia prima multiplicados por 15%, se observa que todos los tipos de materia incrementan su

capacidad en especial la materia prima de tipo 4, la capacidad disponible de esta materia prima permite alcanzar un lote de producción de 1000 unidades. Sin embargo, debido a que el producto terminado está compuesto por la mezcla de las 5 materias primas de acuerdo a un rendimiento preestablecido, las otras materias primas también deben alcanzar el valor de 1000 para que se incremente el tamaño del lote de producción a este valor, puesto que el valor de las materias primas es inferior el tamaño del lote de producción se mantiene constante en 500 unidades; sin embargo, la dispersión del lote se ve afectada puesto que algunos lotes disponibles de materia prima pueden brindar más unidades reduciendo o prescindiendo la utilización de otros lotes del mismo tipo de materia prima.

MATERIA PRIMA:						
LOTE:	cpi_{ik}	1	2	3	4	5
	1	31.5	33	25.5	21	26.25
	2	31.5	33	25.5	21	26.25
	3	31.5	33	25.5	21	26.25
	4	31.5	33	25.5	21	26.25
	5	31.5	33	25.5	21	26.25
	6	31.5	33	25.5	21	26.25
	Σcpi_k	189	198	153	126	157.5
	$\Sigma cpi_k / rk_k$	756	792	765	1260	787.5

Tabla 16. Capacidad lotes de materia prima al 15%.

Fuente. Autor

En la Tabla 17 es posible apreciar los resultados que arrojó el programa al correr el modelo con las capacidades de las materias primas disponibles al 10 y 15%, en esta es posible evaluar qué lotes de materia prima se utilizan para fabricar el lote de productos terminados, además permite validar qué lotes incrementaron su contribución en la constitución del lote de producción y cuales se redujeron.

<i>Variable</i>	Resultados con $cpi * 10\%$	Resultados con $cpi * 15\%$
Objective value:	\$ 1,809,150,000	\$ 1,760,626,000
CS	\$ 1,436,500,000	\$ 1,436,500,000
CM	\$ 288,111,200	\$ 281,604,700
CR	\$ 84,035,250	\$ 42,017,620
CH	\$ 503,677	\$ 503,677

CO	\$ -	\$ -
ET	0	0
EE	5.25	5.25
EP	1	1
QT	500	500
TC	4	4
QF	0	0
YY	0	0
DL	28	19
QK(1)	125	125
QK(2)	125	125
QK(3)	100	100
QK(4)	50	50
QK(5)	100	100
QI(1, 1)	21.00	31.50
QI(2, 1)	21.00	31.50
QI(3, 1)	21.00	30.50
QI(4, 1)	21.00	31.50
QI(5, 1)	21.00	0.00
QI(6, 1)	20.00	0.00
QI(1, 2)	22.00	0.00
QI(2, 2)	22.00	0.00
QI(3, 2)	22.00	33.00
QI(4, 2)	22.00	33.00
QI(5, 2)	15.00	26.00
QI(6, 2)	22.00	33.00
QI(1, 3)	17.00	23.50
QI(2, 3)	17.00	25.50
QI(3, 3)	17.00	25.50
QI(4, 3)	17.00	25.50
QI(5, 3)	17.00	0.00
QI(6, 3)	15.00	0.00
QI(1, 4)	14.00	0.00
QI(2, 4)	0.00	0.00
QI(3, 4)	14.00	21.00
QI(4, 4)	0.00	0.00
QI(5, 4)	8.00	8.00
QI(6, 4)	14.00	21.00
QI(1, 5)	17.50	26.25
QI(2, 5)	17.50	26.25

QI(3, 5)	17.50	0.00
QI(4, 5)	17.50	0.00
QI(5, 5)	12.50	21.25
QI(6, 5)	17.50	26.25

Tabla 17. Resultados del modelo con el cpi_{ik} al 10% y 15%.

Fuente. Autor

Con respecto a la función de costo total se puede deducir que al incrementarse la dispersión de lotes se incrementa el nivel de riesgo de retirar productos del mercado, además cabe anotar que los lotes poseen tanto un nivel de riesgo particular como un costo, por lo que para cumplir con una orden de producción puede darse la situación en que haya que adquirirse materia prima con un alto costo o con un nivel de riesgo no deseado, debido a que los proveedores que más se adecuan a estas necesidades no poseen la capacidad disponible, el costo total para el presente análisis se ve reflejado en la Figura 24.

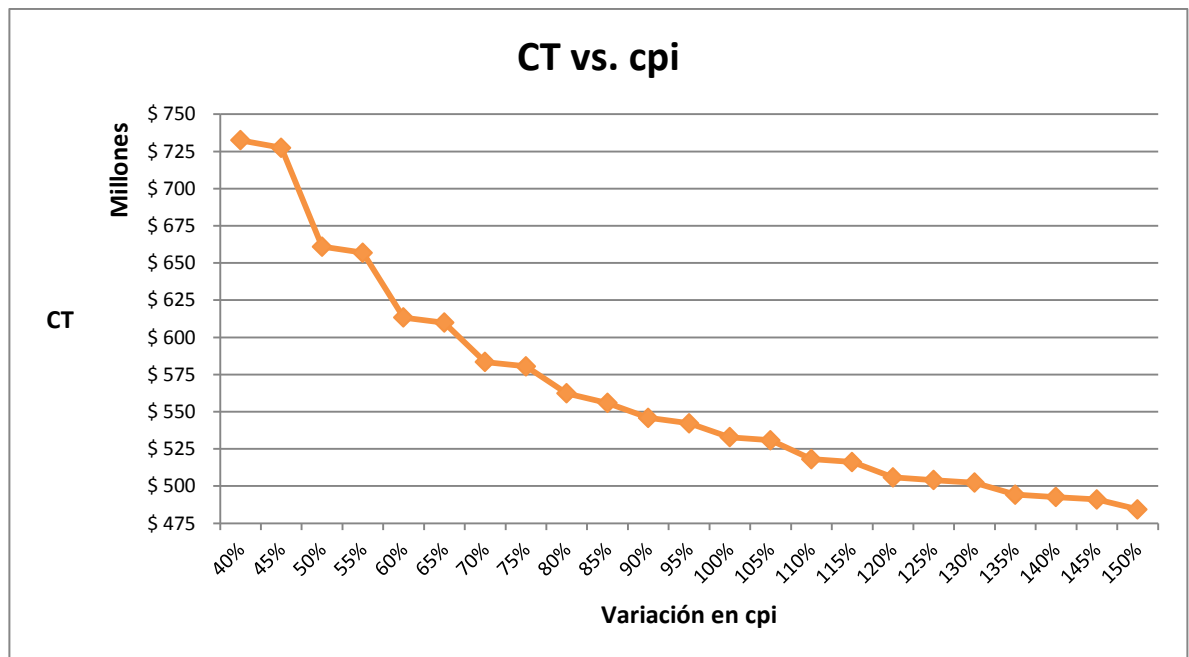


Figura 24. Costo total vs. Variaciones en cpi_{ik} .

Fuente. Autor

10.7 Escenario 5. Variación en ca .

En el presente escenario se varía el costo unitario de alistamiento u ordenar (ca). Los resultados del tamaño del lote de producción, la dispersión del lote y el costo total se presentan en la Tabla 18.

<i>ca</i>	<i>QT</i>	<i>DL</i>	<i>CT</i>
5%	1500	10	\$ 307.717.900
10%	1500	10	\$ 331.659.500
15%	2500	14	\$ 347.452.900
20%	2500	14	\$ 361.817.900
25%	2500	14	\$ 376.182.900
30%	2500	14	\$ 390.547.900
35%	3000	19	\$ 404.520.200
40%	3000	19	\$ 416.491.000
45%	3000	19	\$ 428.461.900
50%	3500	21	\$ 440.399.700
55%	3500	21	\$ 450.660.400
60%	3500	21	\$ 460.921.100
65%	4000	23	\$ 470.668.200
70%	4000	23	\$ 479.646.300
75%	4000	23	\$ 488.624.400
80%	4000	23	\$ 497.602.600
85%	4000	23	\$ 506.580.700
90%	4000	23	\$ 515.558.800
95%	4000	23	\$ 524.536.900
100%	5000	28	\$ 532.842.600

Tabla 18. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en *ca*.
Fuente. Autor

De acuerdo a los resultados y a la Figura 25 se puede inferir que al contraer el costo unitario de alistamiento, menor será el valor que tome el tamaño de lote de producción, puesto que el modelo podrá generar varias órdenes de producción sin afectar la función de costo total.

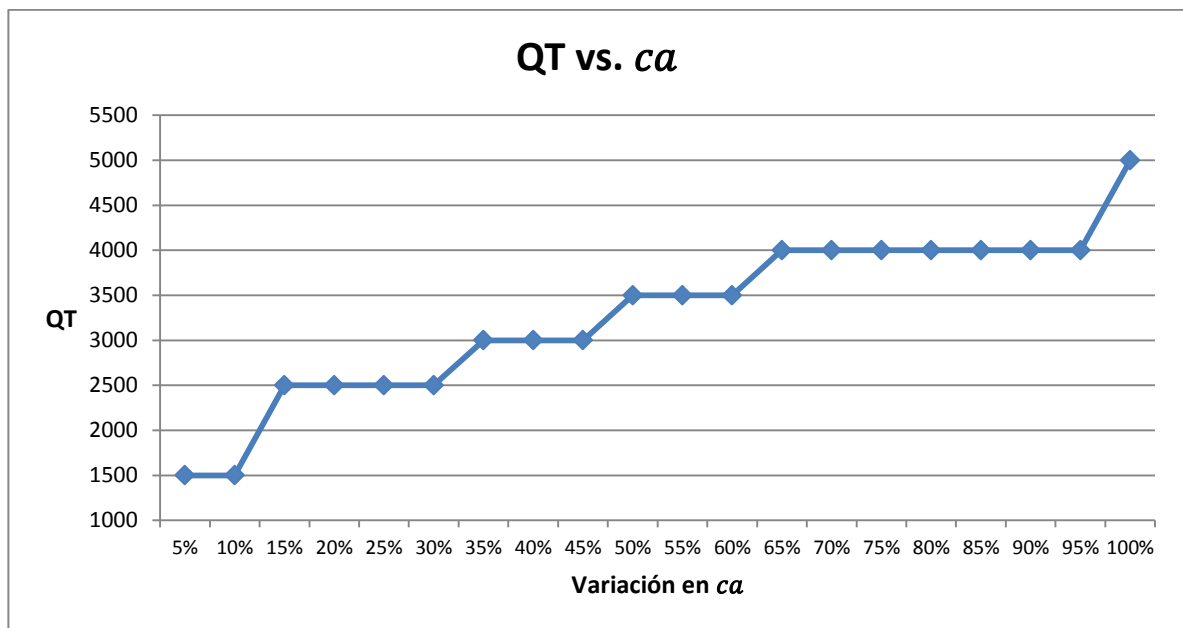


Figura 25. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en *ca*.

Fuente. Autor

Al incrementarse el tamaño del lote de producción debido al aumento del costo de ordenar la dispersión del lote se ve afectada, debido a que se necesitara un número mayor de lotes de materias prima para completar una orden de producción, esta afirmación puede apreciarse en la Figura 26.

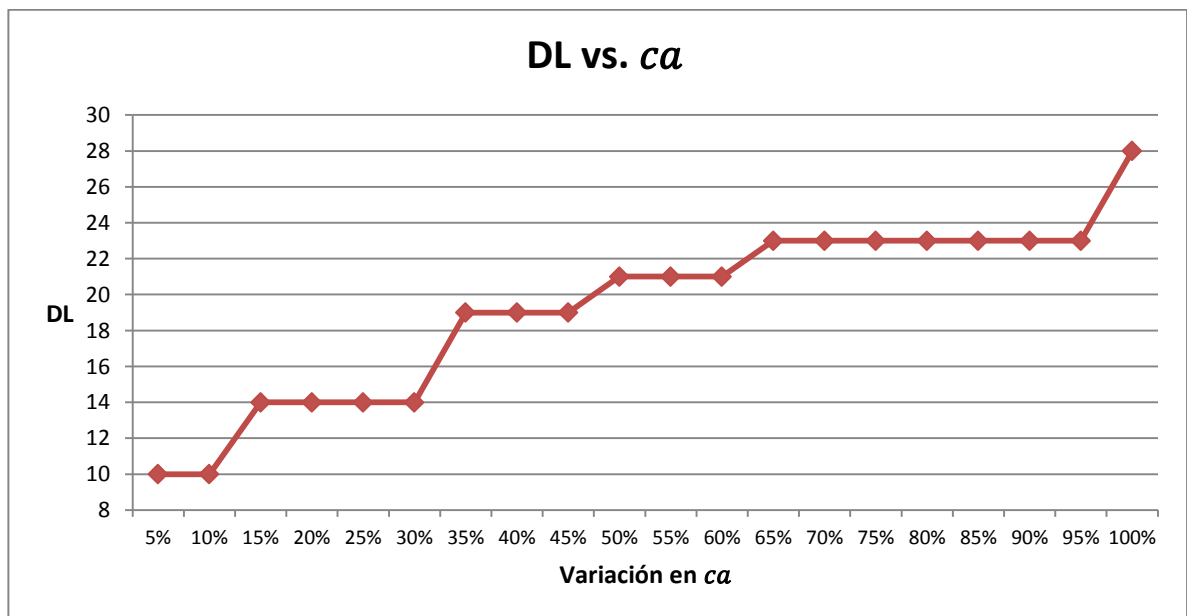


Figura 26. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en *ca*.

Fuente. Autor

Del análisis realizado de la Figura 27 se puede concluir que al disminuirse el costo unitario de alistamiento se genera un menor valor de la función del costo total.

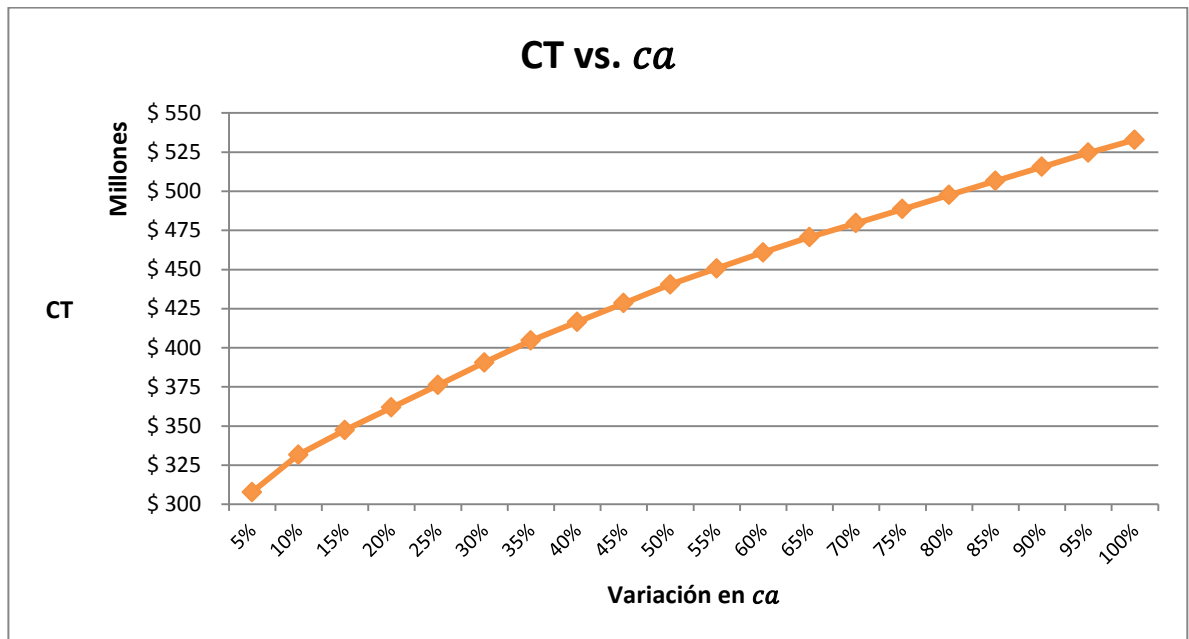


Figura 27. Costo total vs. Variaciones en *ca*.

Fuente. Autor

10.8 Escenario 6. Variación en *cf*.

Para el Escenario 6 se eligió como parámetro cambiante el costo del artículo faltante, las demás medidas se conservan constantes. En la Tabla 19 se presentan los resultados del tamaño de lote de producción, la dispersión del lote y el costo total al hacer variaciones en el costo unitario por artículo que no satisface la demanda.

<i>cf</i>	<i>QT</i>	<i>DL</i>	<i>CT</i>
25%	5000	28	\$ 522.148.100
50%	5000	28	\$ 525.712.900
75%	5000	28	\$ 529.277.700
100%	5000	28	\$ 532.842.600
125%	4000	23	\$ 535.594.600
150%	4000	23	\$ 537.674.100
175%	4000	23	\$ 539.753.500
200%	4000	23	\$ 541.833.000
225%	4000	23	\$ 543.912.500
250%	4000	23	\$ 545.992.000

275%	4000	23	\$ 548.071.500
300%	4000	23	\$ 550.151.000
325%	3500	21	\$ 552.173.500
350%	3500	21	\$ 553.192.100
375%	3500	21	\$ 554.210.600
400%	3500	21	\$ 555.229.100
425%	3500	21	\$ 556.247.700
450%	3500	21	\$ 557.266.200
475%	3500	21	\$ 558.284.700
500%	3500	21	\$ 559.303.200

Tabla 19. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en *cf*.
Fuente. Autor

Al incrementar el valor del costo unitario por artículo faltante o que no satisface la demanda del cliente se puede identificar que el tamaño del lote de producción sufre un detrimento, puesto que entre menor sea el lote de producción menor será el número de productos que arriben fuera del tiempo de ciclo de vida del producto pactado con el cliente. Esta situación puede apreciarse en la Figura 28.

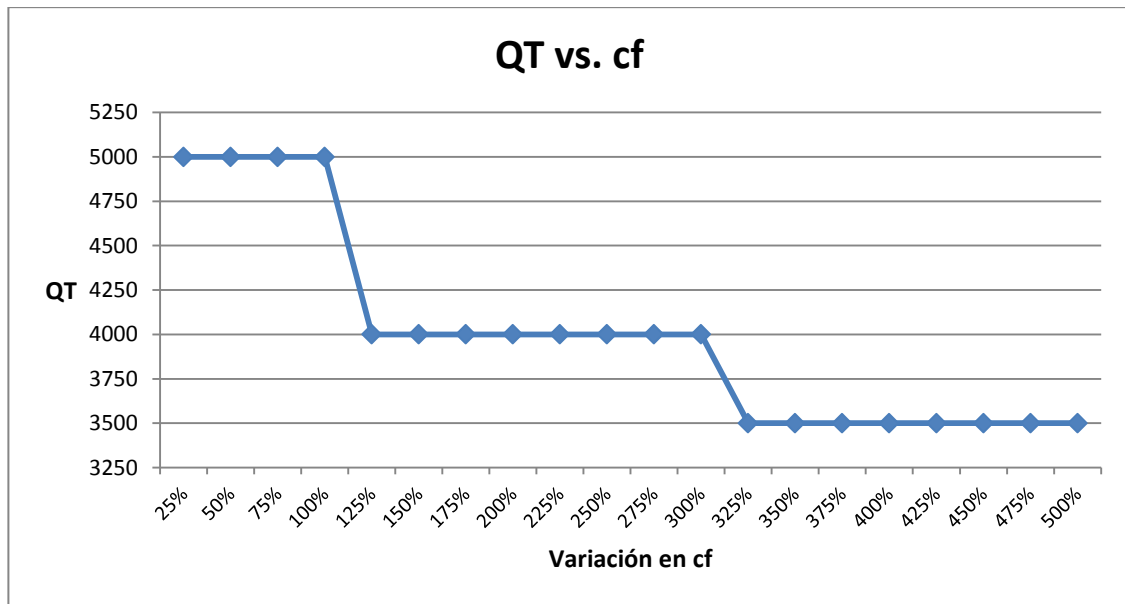


Figura 28. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en *cf*.
Fuente. Autor

Al disminuir el tamaño del lote de producción debido al aumento del costo por artículo faltante de igual forma se comporta la dispersión del lote puesto que se requiere un

número menor de lotes de materias primas para la fabricación del lote de producto terminado, esta apreciación se ve reflejada en la Figura 29.

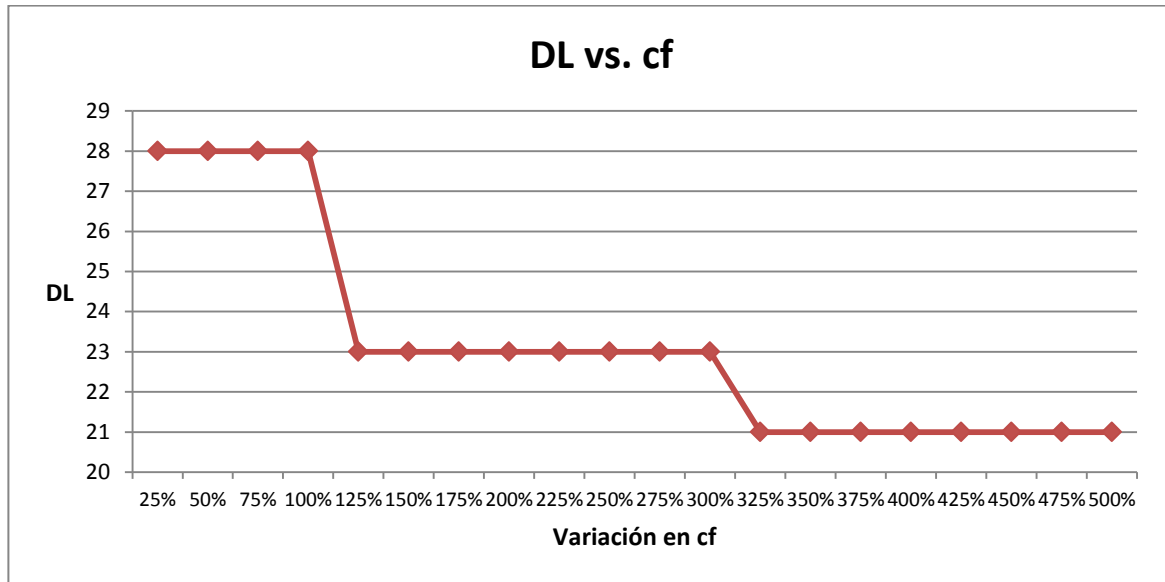


Figura 29. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en *cf*.

Fuente. Autor

Al variar el costo por artículo faltante o que no satisface la demanda del cliente con respecto a la función de costo total puede afirmarse que entre mayor sea el costo por artículo faltante mayor será el valor que tome la función de costo total.

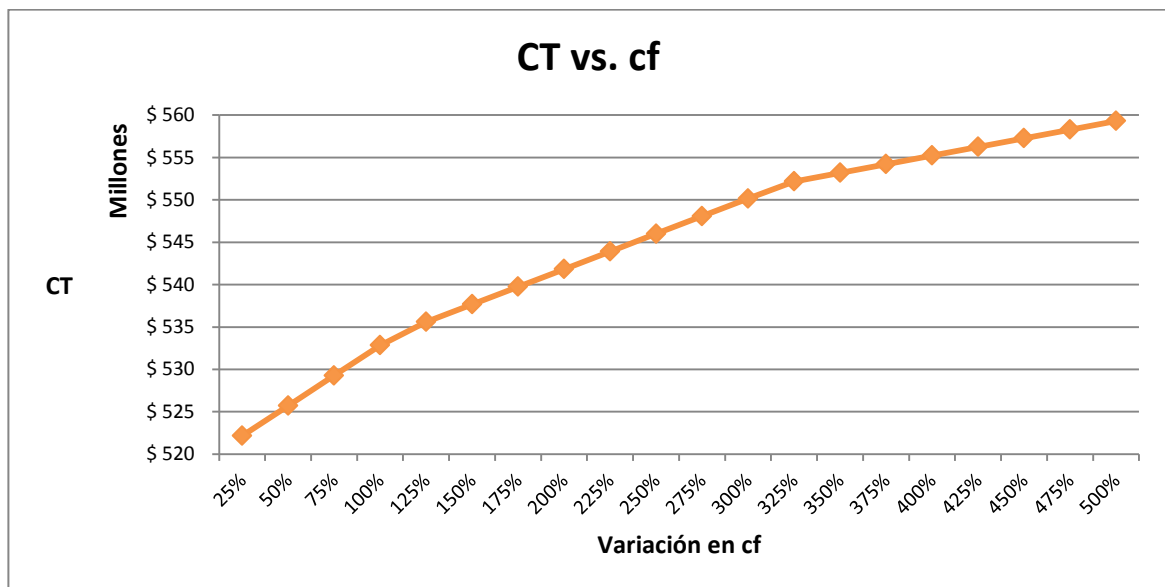


Figura 30. Costo total vs. Variaciones en *cf*.

Fuente. Autor

10.9 Escenario 7. Variación en *cp*.

Para el presente escenario se seleccionó el costo de posesión como parámetro cambiante, los resultados del tamaño de lote de producción, la dispersión del lote y el valor del costo total se expresan en la Tabla 20.

<i>cp</i>	<i>QT</i>	<i>DL</i>	<i>CT</i>
25%	5000	28	\$ 530.752.500
50%	5000	28	\$ 531.449.200
75%	5000	28	\$ 532.145.900
100%	5000	28	\$ 532.842.600
125%	5000	28	\$ 533.539.300
150%	5000	28	\$ 534.236.000
175%	5000	28	\$ 534.932.600
200%	5000	28	\$ 535.629.400
225%	5000	28	\$ 536.326.000
250%	4000	23	\$ 536.934.200
275%	4000	23	\$ 537.504.000
300%	4000	23	\$ 538.073.900
325%	4000	23	\$ 538.643.700
350%	4000	23	\$ 539.213.600
375%	4000	23	\$ 539.783.500
400%	4000	23	\$ 540.353.300
425%	4000	23	\$ 540.923.200
450%	4000	23	\$ 541.493.000
475%	4000	23	\$ 542.062.900
500%	4000	23	\$ 542.632.700

Tabla 20. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en *cp*.
Fuente. Autor

Para el escenario 7 al variar el valor del costo de posesión o de mantener el inventario se pudo identificar que entre mayor sea el costo de la misma forma será el valor del tamaño de lote de producción, para los datos que se manejan se presentó una variación cuando el costo de mantener inventario se incrementó en un 250%, esta situación puede observarse en la Figura 31.

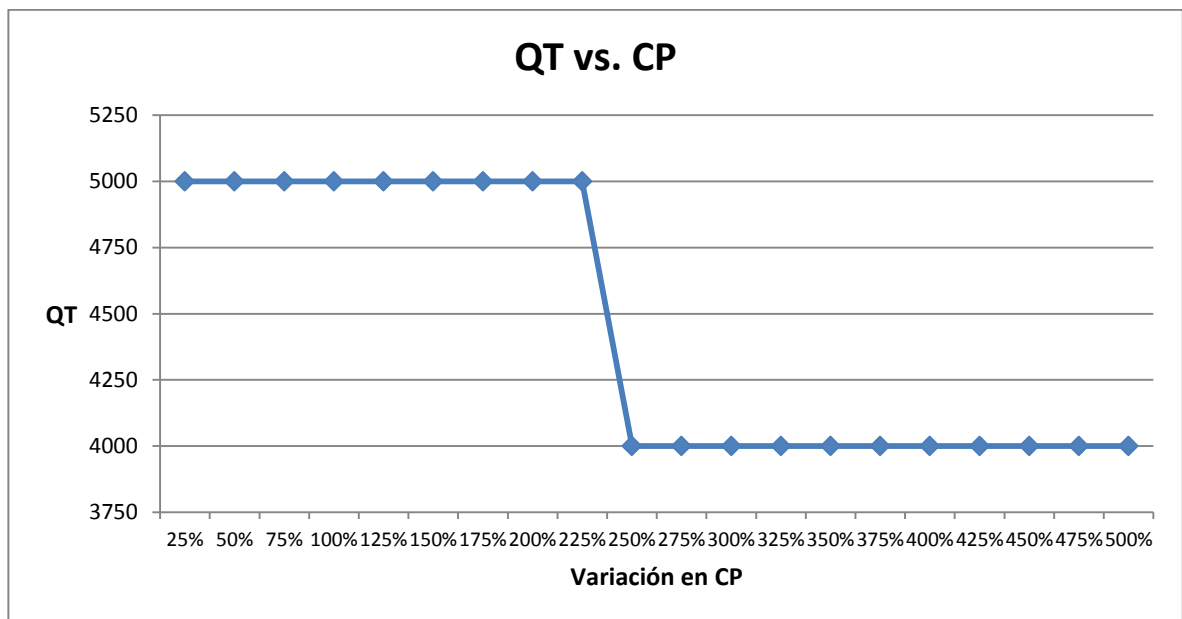


Figura 31. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en *cp*.
Fuente. Autor

Al presentarse una variación en el tamaño de lote de la misma forma se presenta en la dispersión, al incrementarse el valor del costo de posesión la dispersión muestra un detrimento, estas condiciones pueden visualizarse en la Figura 32.

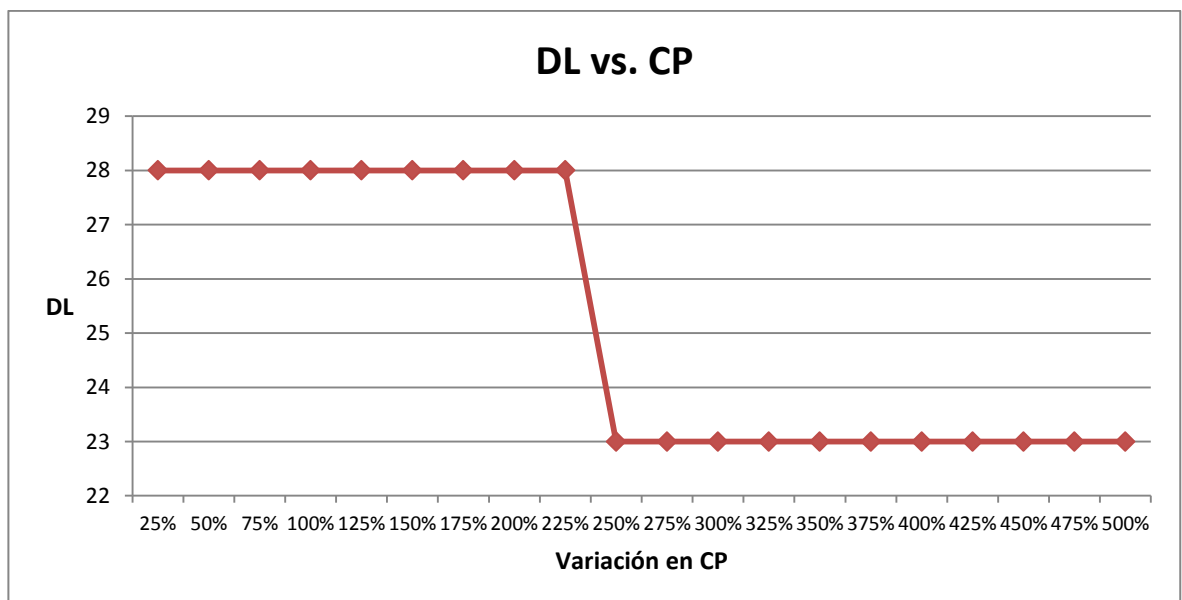


Figura 32. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en *cp*.
Fuente. Autor

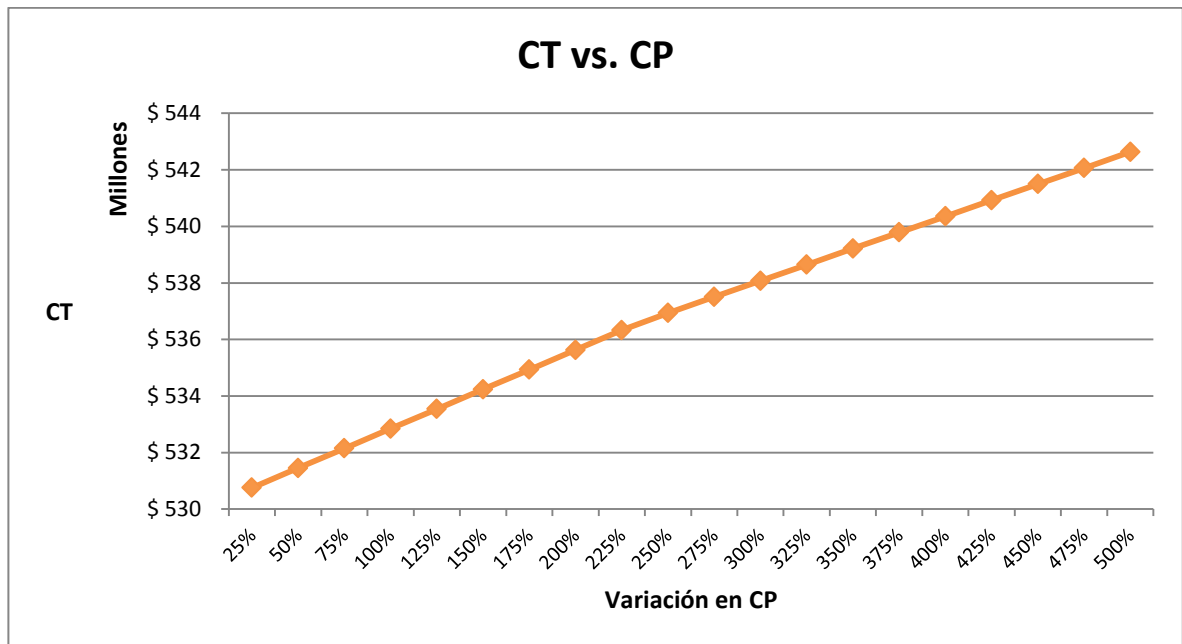


Figura 33. Costo total vs. Variaciones en cp .
Fuente. Autor

10.10 Escenario 8. Variación en ci_{ik} .

Para el Escenario 8 se estableció como móvil el costo de los lotes disponibles i de materia prima de tipo k , las demás medidas se mantuvieron constantes. El valor del tamaño del lote de producción, la dispersión y el valor de la función de costo total al realizar variaciones en el costo de las materias primas disponibles se presenta en la Tabla 21.

ci	QT	DL	CT
25%	5000	28	\$ 316.408.500
50%	5000	28	\$ 388.787.000
75%	5000	28	\$ 460.814.800
100%	5000	28	\$ 532.842.600
125%	4000	23	\$ 603.906.200
150%	4000	23	\$ 674.170.600
175%	4000	23	\$ 743.991.400
200%	4000	23	\$ 813.812.100
225%	4000	23	\$ 883.632.900
250%	4000	23	\$ 953.453.700
275%	4000	23	\$ 1.023.274.000
300%	4000	23	\$ 1.093.095.000
325%	4000	23	\$ 1.162.916.000

350%	3500	21	\$ 1.232.285.000
375%	3500	21	\$ 1.300.739.000
400%	3500	21	\$ 1.369.193.000
425%	3500	21	\$ 1.437.647.000
450%	3500	21	\$ 1.506.102.000
475%	3500	21	\$ 1.574.556.000
500%	3500	21	\$ 1.643.010.000

Tabla 21. Tamaño, Dispersión del lote y Costo total vs. Variaciones en ci_{ik} .
Fuente. Autor

La Figura 34 muestra que al incrementar el costo de los lotes disponibles de materia prima el tamaño del lote de producción se reduce.

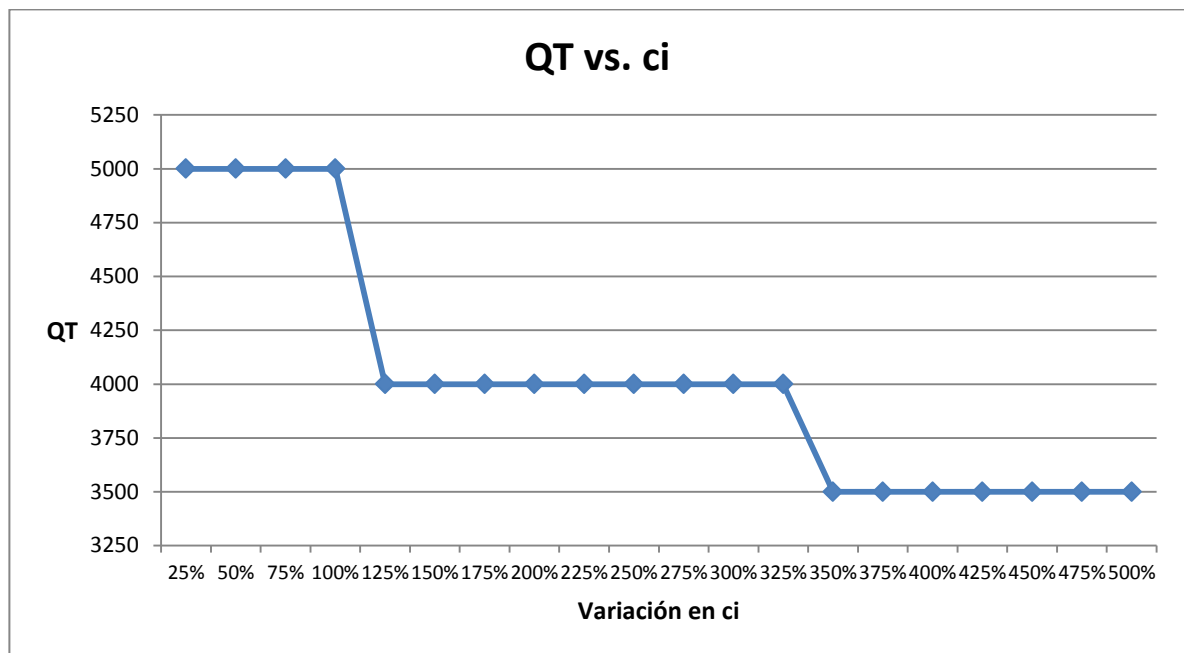


Figura 34. Tamaño del lote de producción vs. Variaciones en ci_{ik} .
Fuente. Autor

Al reducirse el tamaño del lote de producción la dispersión lo hace de la misma manera puesto que se requiere un menor número de lotes disponibles de materia prima para generar un lote de productos terminados, este entorno se manifiesta en la Figura 35.

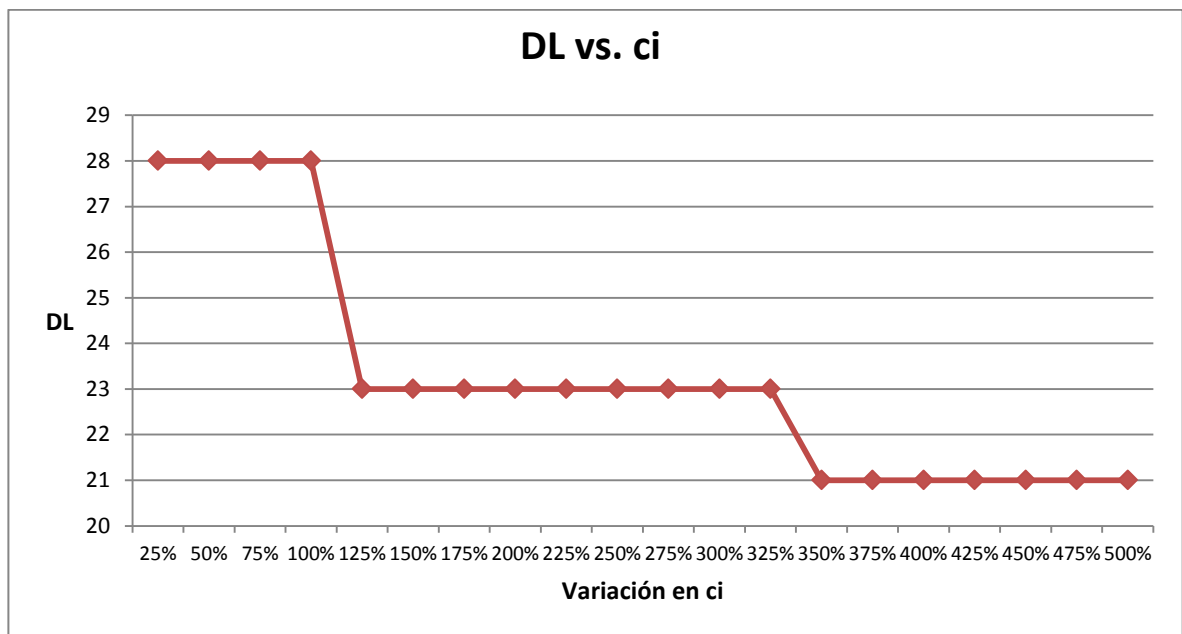


Figura 35. Dispersión del lote de producción vs. Variaciones en ci_{ik} .

Fuente. Autor

Al incrementarse el costo de los lotes disponibles de materia prima la función de costo total se amplifica generado por el incremento del costo de ordenar al reducirse el tamaño del lote de producción, como se ve reflejado en la Figura 36.

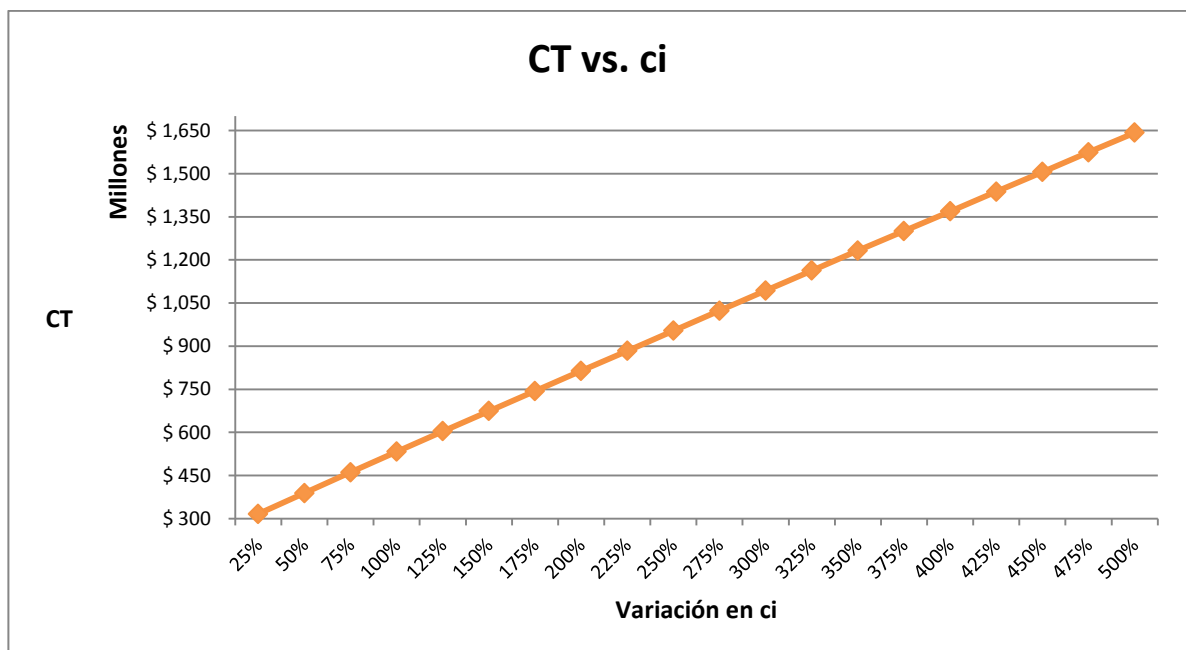


Figura 36. Costo total vs. Variaciones en ci_{ik} .

Fuente. Autor

10.11 Escenario 9. Variación en *DL*.

Para el escenario número 9 se desea obtener el valor del tamaño del lote de producción y la función de costo total al tomar la dispersión del lote como un valor constante y darle todos los valores posibles para el caso de estudio, los resultados se aprecian en la Tabla 19. Cabe destacar que cuando la dispersión tomo los valores de 6, 13 y 18 no se pudieron hallar soluciones globales factibles, por lo que se excluyeron del análisis.

<i>DL</i>	<i>QT</i>	<i>CT</i>
5	500	\$ 1,700,644,000
7	500	\$ 1,702,291,000
8	500	\$ 1,703,115,000
9	1000	\$ 991,604,400
10	1500	\$ 762,609,500
11	1500	\$ 763,433,400
12	1500	\$ 764,257,300
14	2500	\$ 591,657,900
15	2500	\$ 592,925,400
16	2500	\$ 594,573,200
17	2500	\$ 596,220,900
19	3000	\$ 560,141,000
20	3000	\$ 562,098,600
21	3500	\$ 543,006,800
22	3500	\$ 544,787,300
23	4000	\$ 533,515,100
24	4000	\$ 536,557,100
25	4000	\$ 539,852,600
26	4000	\$ 543,338,200
27	4000	\$ 548,070,200
28	5000	\$ 532,842,600
29	5000	\$ 537,650,600
30	5000	\$ 543,836,000

Tabla 22. Tamaño del lote y Costo total vs. Variaciones en *DL*.
Fuente. Autor

Al disminuir la dispersión del lote de producción se observó que el tamaño del lote de producción se reduce, esta situación se debe a que al alterarse la dispersión del lote se exige al modelo a que limite el número de lotes de materia disponible de cada materia prima a utilizar, asimismo al variar el número de lotes disponibles de materia prima se

estaría alterando la capacidad por tipo de materia prima que compone el lote de producción, al modificarse la capacidad por tipo de materia prima el tamaño de lote de producción se encontrara restringido por la materia prima que menos aporta en su composición, este escenario puede visualizarse en la Figura 37.

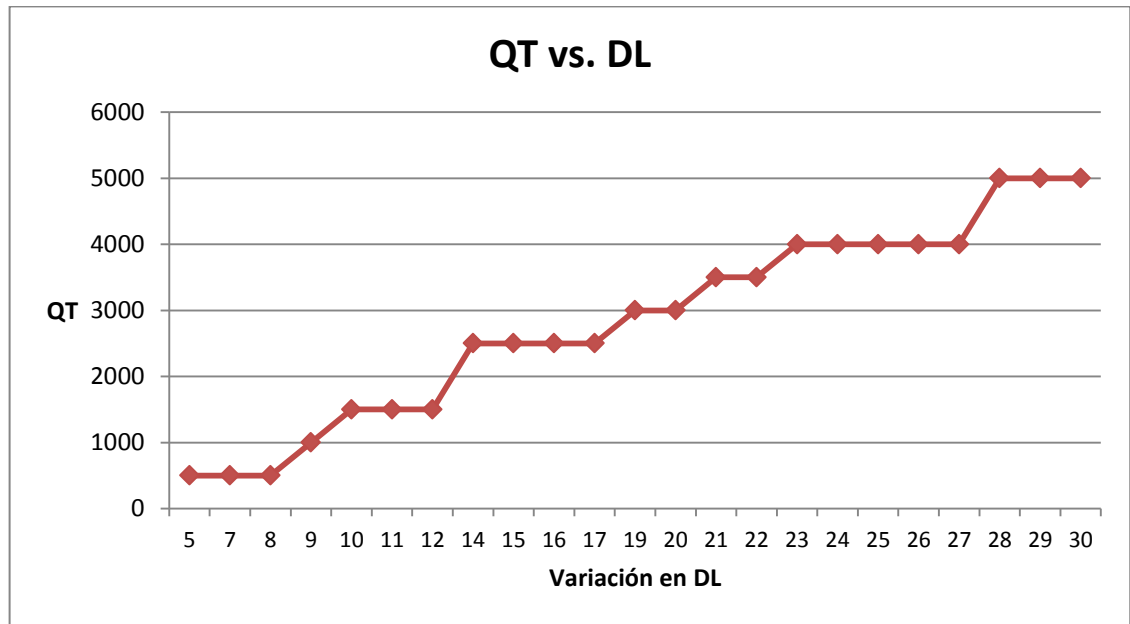


Figura 37. Tamaño de lote de producción vs. Variaciones en DL.
Fuente. Autor

Debido a que el tamaño del lote de producción se reduce o se incrementa debido a la alteración de la dispersión del lote que lo compone, el costo de ordenar y el costo de las materias primas también resultan afectados. Se puede comentar en particular la situación del costo de ordenar cuando el tamaño de producción se reduce, ya que se deben generar varias órdenes de compra con el objetivo de satisfacer la demanda, luego puede inferirse que el costo de ordenar tendrá un valor alto, por lo tanto la función de costo total se incrementa, estas condiciones pueden ser apreciadas en la figura 38.

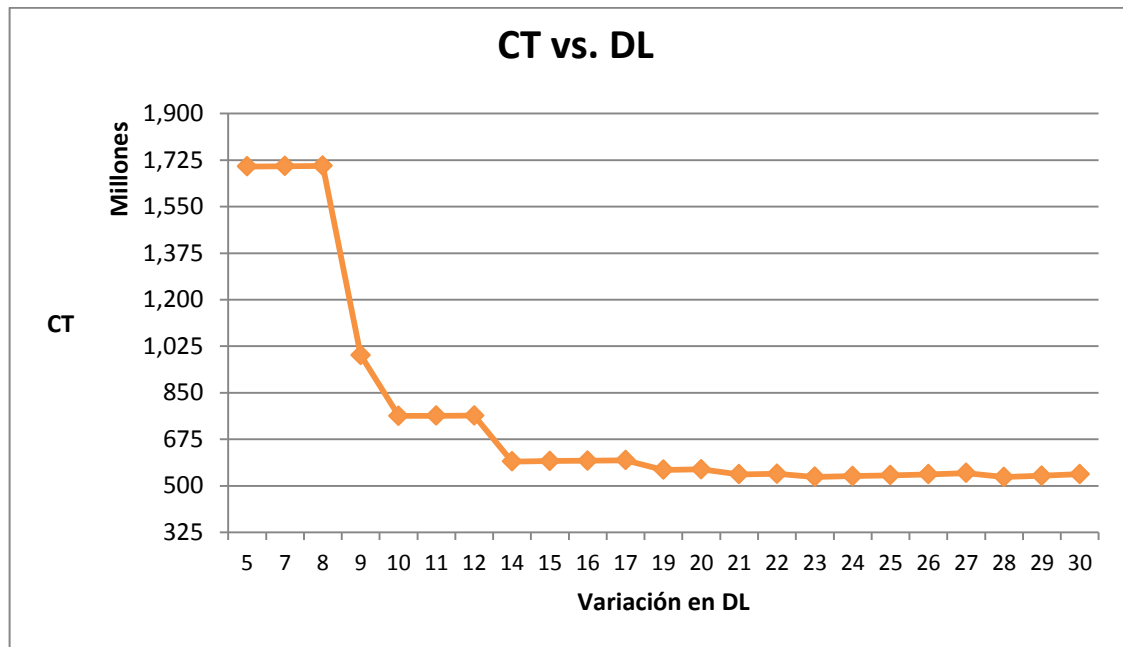


Figura 38. Costo Total vs. Variaciones en DL.
Fuente. Autor

10.12 Escenario 10. Modelo con *CR*, sin *CR* y minimizando solo *CR*.

Para el escenario 10 se comparan los resultados del modelo corriéndose en 3 condiciones diferentes que tienen en cuenta *CR*, la primera corriendo el modelo con las condiciones iniciales las que añaden el costo potencial de retirar productos del mercado a la función objetivo, la segunda prescindiendo todos los componentes del costo potencial de retirar productos del mercado tanto del modelo como de la función objetivo y por último el modelo con las condiciones iniciales pero minimizando en la función objetivo únicamente el costo potencial de retirar productos del mercado *CR* y excluyendo los demás costos, los resultados pueden apreciarse en la Tabla 20.

<i>Variable</i>	<i>Value with CR</i>	<i>Value without CR</i>	<i>Value only CR</i>
Objective value	\$ 532,842,600	\$ 448,266,500	\$ 4,119,375
CS	\$ 143,650,000	\$ 143,650,000	\$ 1,436,500,000
CM	\$ 288,111,200	\$ 287,570,400	\$ 299,552,500
CR	\$ 84,035,250	\$ -	\$ 4,119,375
CH	\$ 2,786,765	\$ 2,786,765	\$ 503,677
CO	\$ 14,259,380	\$ 14,259,380	\$ 0
QT	5000	5000	500
QF	1875	1875	0

ET	4	4	0
EE	0	0	5
EP	10	10	1
TC	40	40	4
YY	1	1	0
DL	28	28	5
QK(1)	1250	1250	125
QK(2)	1250	1250	125
QK(3)	1000	1000	100
QK(4)	500	500	50
QK(5)	1000	1000	100
QI(1, 1)	210	210	0
QI(1, 2)	220	220	0
QI(1, 3)	170	170	0
QI(1, 4)	140	140	0
QI(1, 5)	175	175	0
QI(2, 1)	210	210	125
QI(2, 2)	220	220	0
QI(2, 3)	170	170	0
QI(2, 4)	0	80	0
QI(2, 5)	175	175	0
QI(3, 1)	210	210	0
QI(3, 2)	220	220	125
QI(3, 3)	170	170	0
QI(3, 4)	140	140	50
QI(3, 5)	175	175	0
QI(4, 1)	210	210	0
QI(4, 2)	220	220	0
QI(4, 3)	170	170	100
QI(4, 4)	0	0	0
QI(4, 5)	175	175	0
QI(5, 1)	210	210	0
QI(5, 2)	150	150	0
QI(5, 3)	170	170	0
QI(5, 4)	80	0	0
QI(5, 5)	125	125	100
QI(6, 1)	200	200	0
QI(6, 2)	220	220	0
QI(6, 3)	150	150	0
QI(6, 4)	140	140	0

QI(6, 5)	175	175	0
-----------	-----	-----	---

Tabla 23. Resultados del modelo con CR, sin CR y minimizando solo CR.

Fuente. Autor

Posteriormente se realizó el análisis de las diferentes variables de decisión cuando se corre el modelo incorporando *CR*, cuando se excluye *CR* del modelo y el modelo cuando en la función objetivo solo se minimiza *CR*.

Para el primer análisis se toma el valor de la función objetivo, en la Figura 39 se puede apreciar que el valor más alto es el que incorpora el valor del costo potencial de retirar productos, el valor que le precede es el del modelo excluyendo *CR* y por último el valor de la función objetivo minimizando únicamente el costo potencial de retirar productos del mercado. Se puede apreciar por medio de la Tabla 23, que los resultados de la función objetivo del modelo con *CR* y el modelo excluyendo *CR* se diferencia puesto a que en el segundo no se determina el costo potencial de retirar productos asimismo el modelo no tiene en cuenta el peligro que está asociado a cada lote disponible por tipo de materia prima.

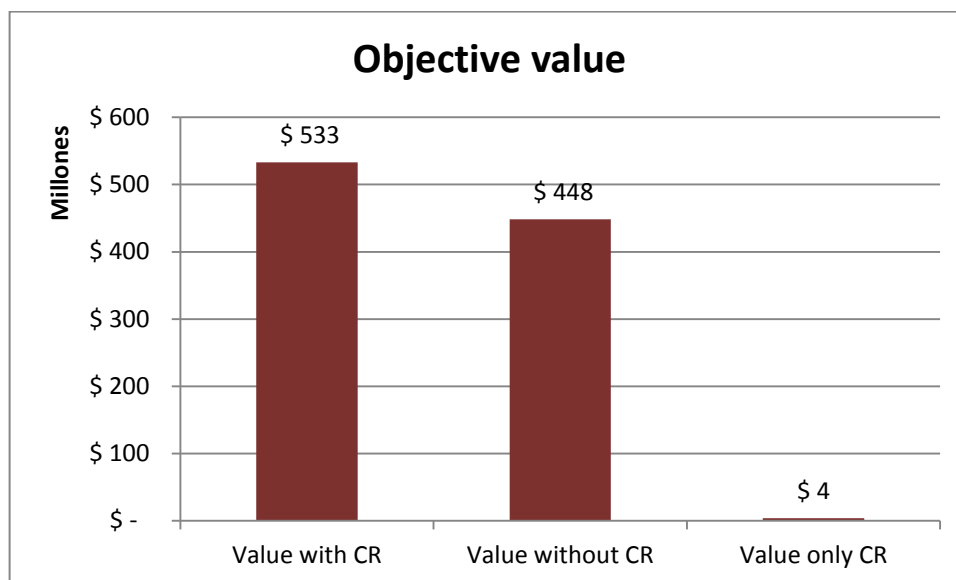


Figura 39. Valor Objetivo con CR, sin CR y minimizando solo CR.

Fuente. Autor

Con respecto al costo de ordenar el valor más alto lo alcanza el modelo cuando se minimiza únicamente el valor de *CR*, los resultados del modelo con *CR* y excluyendo *CR* son el mismo esto principalmente por que el tamaño del lote de producción son el mismo y es de 5000 unidades, para el caso en donde solo se minimiza el costo potencial de retirar

productos del mercado en la función objetivo se genera un tamaño de lote de producción de 500 unidades, puesto que se necesitan generar varios lotes para cumplir la demanda se requieren varias órdenes de producción y por lo tanto el costo de ordenar es alto.

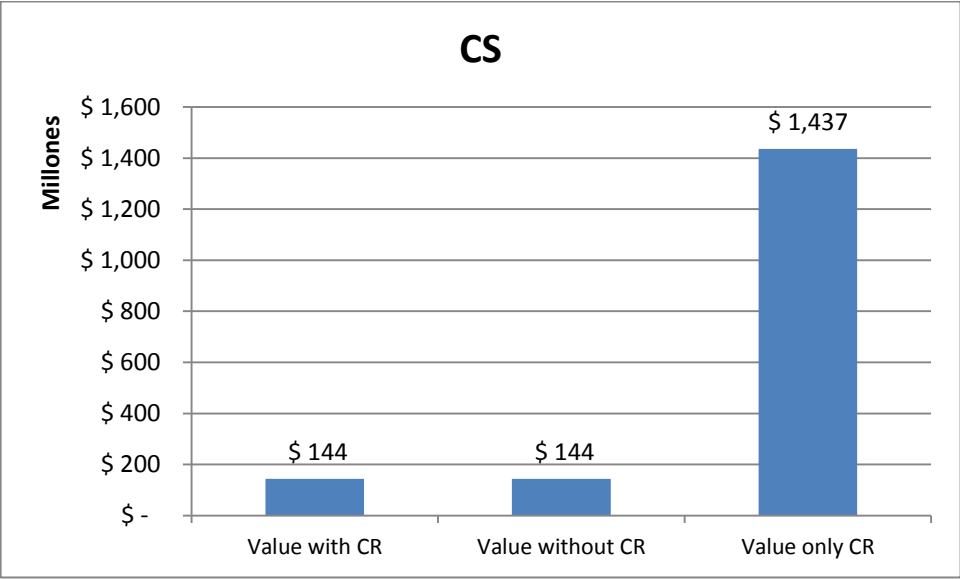


Figura 40. Costo de Ordenar con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

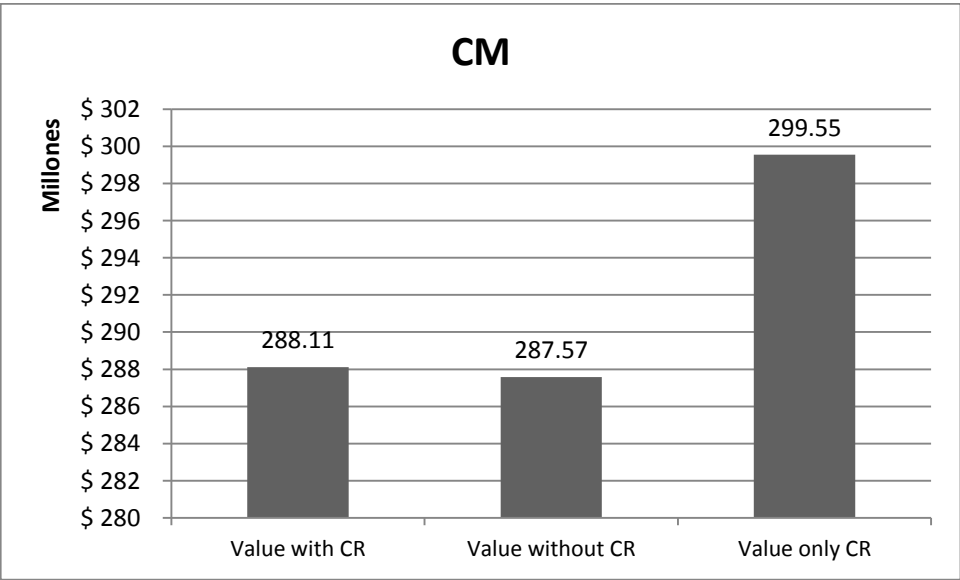


Figura 41. Costo de Materias Primas con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

A continuación se procede a presentar los resultados del costo potencial de retirar productos del mercado, el costo de posesión y el costo de obsolescencia cuando se presentan las 3 condiciones anteriormente enunciadas con respecto al modelo.

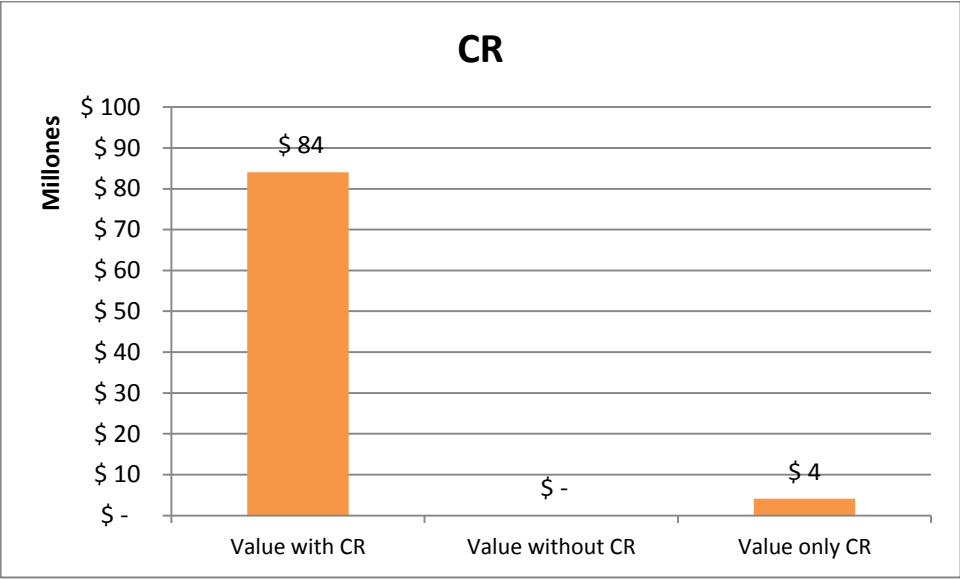


Figura 42. Costo potencial de retirar productos con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

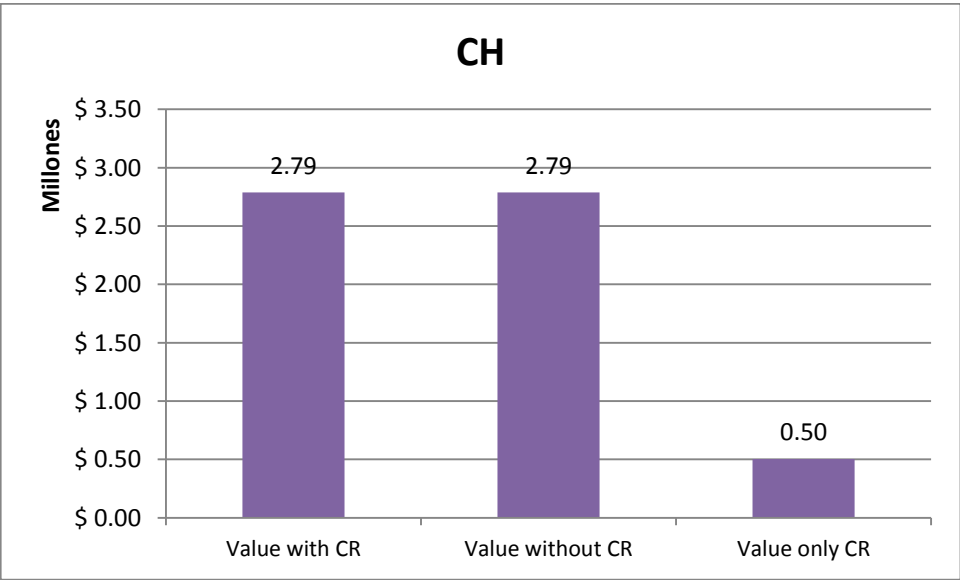


Figura 43. Costo de posesión con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

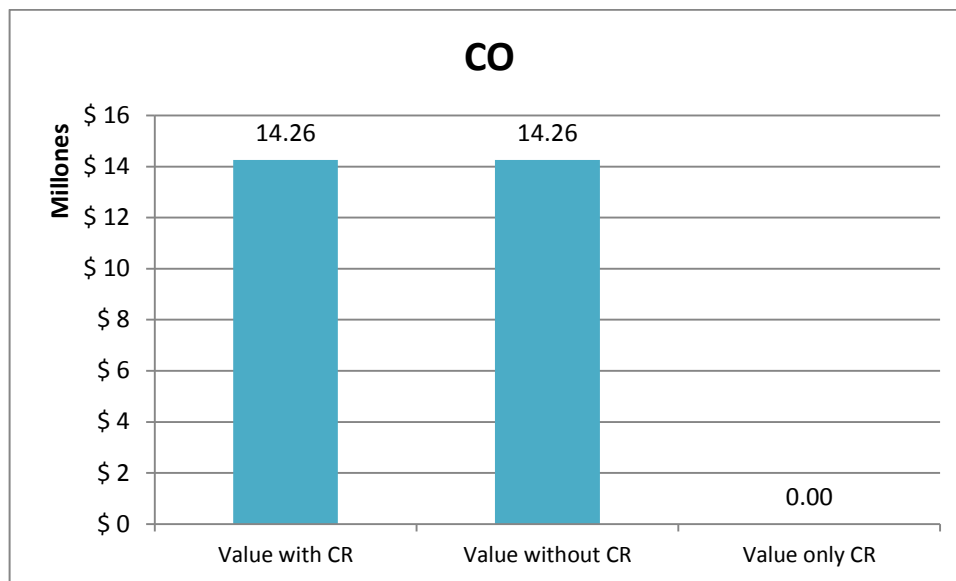


Figura 44. Costo de Obsolescencia con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

La Figura 45 en donde se presentan los resultados de la dispersión del lote de producción del modelo con las 3 condiciones manejadas para este escenario, nos presenta que el resultado de la dispersión tanto para el modelo cuando se maneja CR como cuando se excluye CR del modelo y de la función objetivo es análogo, sin embargo para el modelo cuando solo se minimiza el costo potencial de retirar productos del mercado el valor de la dispersión es el mínimo posible para este caso de estudio que es de 5, puesto que 5 son las materias primas que componen el producto terminado, el modelo con el objetivo de reducir CR utiliza un solo lote de materia prima por tipo de materia prima.

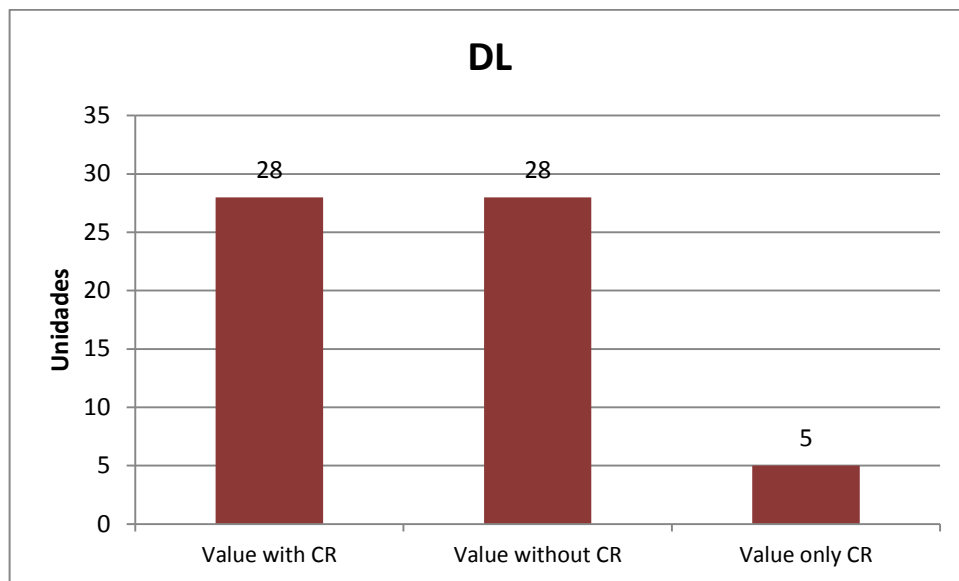


Figura 45.Dispersión del Lote de Producción con CR, sin CR y minimizando solo CR.

Fuente. Autor

En seguida se procede con el análisis del tamaño de lote de producción con los 3 ambientes enunciados en este escenario, nuevamente los resultados para esta variable de decisión cuando en el modelo se incluye y se excluye el costo potencial de retirar productos del mercado presentan resultados similares, no obstante el resultado del tamaño de lote cuando se minimiza únicamente *CR* en la función objetivo presenta el resultado más bajo que es de 500 unidades, debido a que ese es el valor de tamaño de lote máximo que puede producirse utilizando un solo lote por tipo de materia prima y de acuerdo a su capacidad que para nuestro caso de estudio se mantiene constante para cada tipo de materia prima.

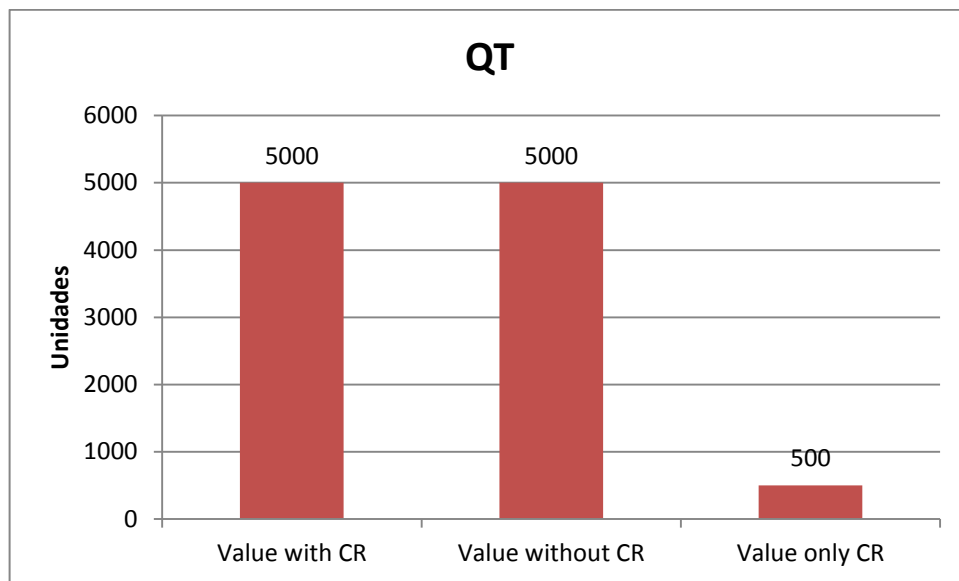


Figura 46. Tamaño del lote con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

De acuerdo al análisis realizado de la Figura 47 en donde se examinan los resultados de la cantidad de producto terminado que no satisface la demanda del cliente del modelo propuesto con *CR* incluido en su totalidad, asimismo excluyendo los componentes de *CR* tanto del modelo como de la función objetivo y por último el modelo minimizando únicamente en la función objetivo *CR*. En el primer y segundo caso debido a que el tamaño del lote de producción es igual a 5000 se presenta una cantidad faltante de 1875 unidades que no satisface la demanda del cliente o que puede decirse que le llega al cliente fuera del ciclo de vida pactado con el cliente. Para el tercer caso la cantidad de producto faltante o que no satisface la demanda del cliente de 0 unidades, esto generado principalmente por el reducido tiempo de ciclo que se maneja para este caso.

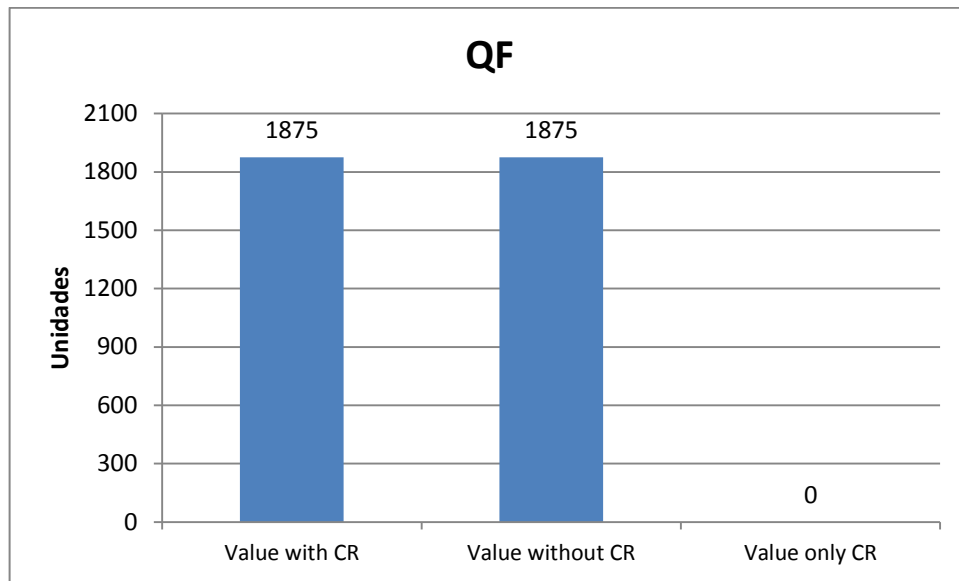


Figura 47. Cantidad de producto faltante con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

En las figuras 48, 49 y 50 se presentan los resultados del número de envíos que se encuentran relacionados con el modelo corriendolo con los 3 entornos, el primero con el costo de retirar productos del mercado, el segundo excluyendo el valor de CR del modelo y de la función objetivo y por último el modelo cuando solo se minimiza en la función objetivo CR.

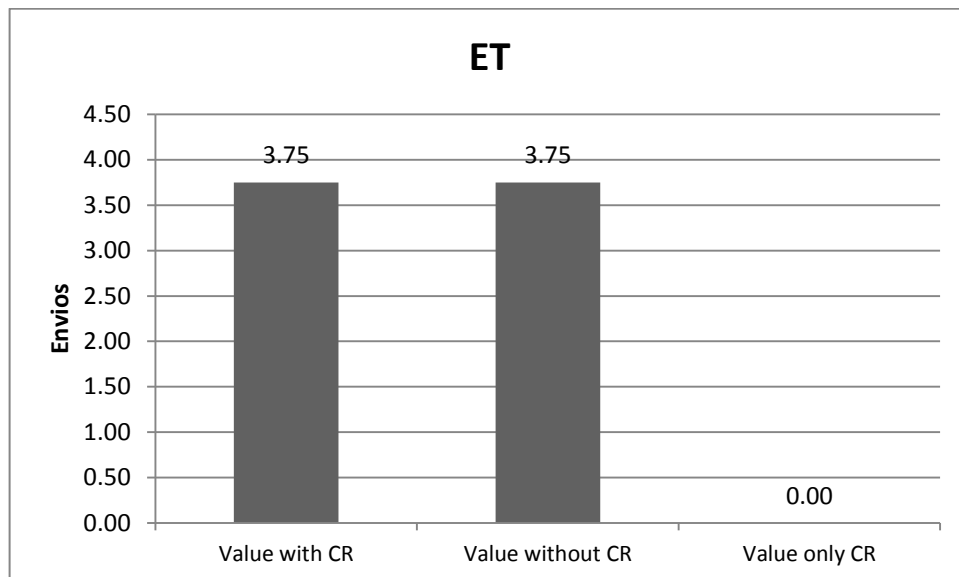


Figura 48. Envíos tardíos con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

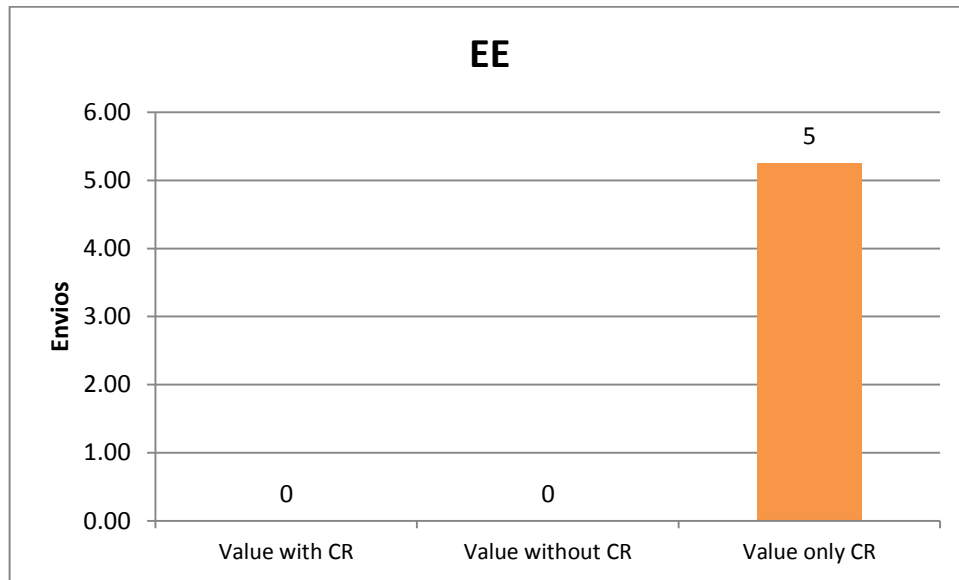


Figura 49. Envíos disponibles con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

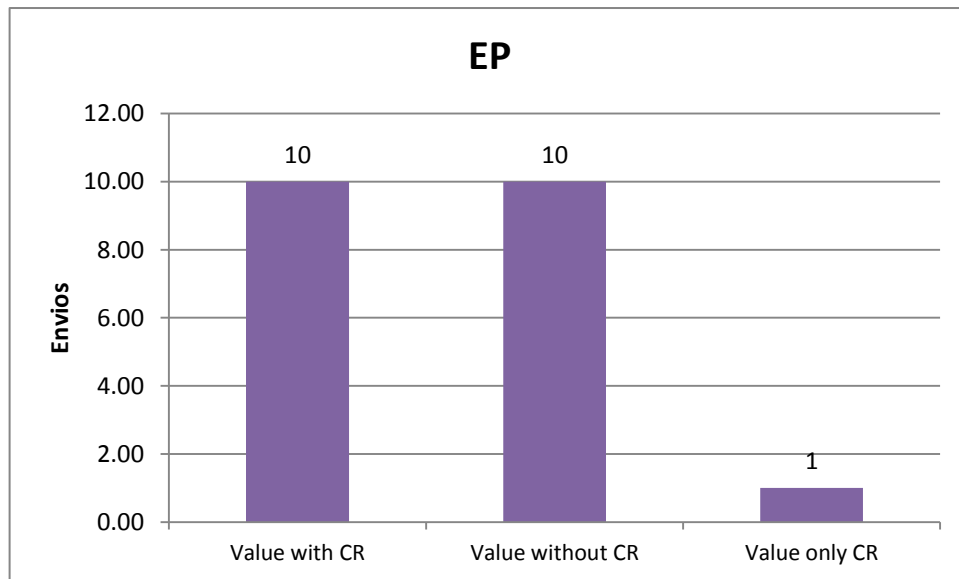


Figura 50. Envíos de producto terminado con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

Por último se presentan los resultados del tiempo de ciclo con los 3 ambientes modelados en este escenario.

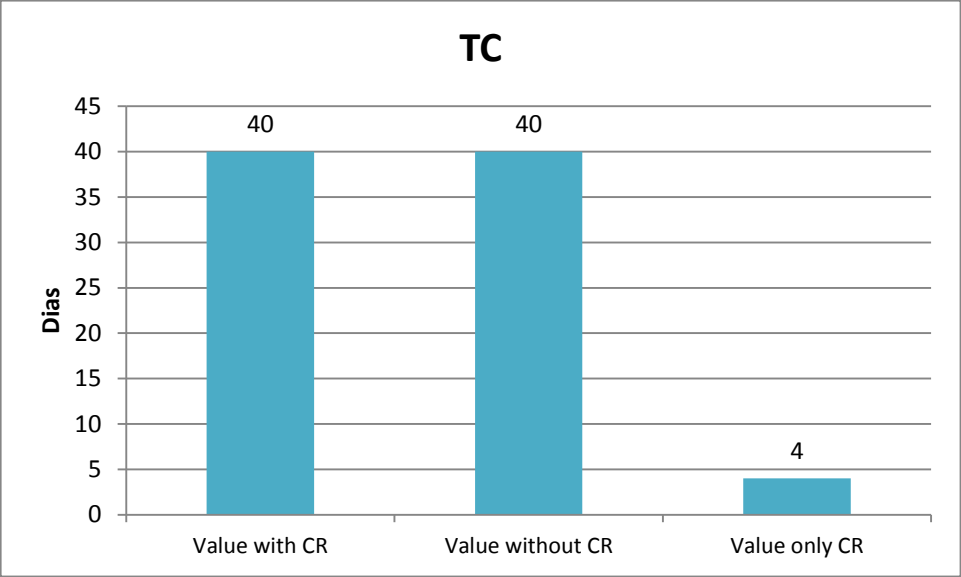


Figura 51. Tiempo de ciclo con CR, sin CR y minimizando solo CR.
Fuente. Autor

11. CONCLUSIONES

- Con el presente trabajo se pudo identificar ciertos aspectos de la trazabilidad como que la homogeneidad de las materias primas tienen una gran incidencia dentro de la definición del tamaño de lote de producción por lo que su variabilidad presenta una gran incidencia dentro del costo potencial de retirar productos del mercado.
- La inclusión de la dispersión del lote es un elemento bastante útil puesto que se conoce la dimensión de las relaciones que hacen parte del proceso de fabricación lo cual dará una representación de la complejidad que puede tener el proceso de retirar productos del mercado dada una eventualidad, del mismo modo se concluyó que el tamaño de la dispersión del lote repercute de manera considerable en el tamaño del lote de producción.
- El modelo presente en esta tesis logra demostrar que un elemento clave dentro de la definición del tamaño de lote es una adecuada selección de la materia prima y por ende de los proveedores ya que minimizando el riesgo y la variabilidad de cada uno el resultado se ve en la uniformidad y la calidad de los productos generados y en el detrimento del costo potencial de retirar productos del mercado.
- La capacidad de los lotes disponibles de materia prima por cada tipo de materia prima tiene una gran incidencia en la composición del tamaño del lote de producción puesto que al reducirse disminuyen el tamaño del lote.
- Dentro de la heurística desarrollada se logró integrar la relación que existe entre los diferentes precios que manejan los proveedores y el riesgo que cada uno presenta asimismo se pudo observar que el incremento en la dispersión del lote dentro de la definición del lote de producción no es recomendable.
- El historial negativo de un producto específico con respecto a eventualidades que han implicado su retiro del mercado o el alto peligro de los lotes disponibles de materia prima trasciende en el tamaño del lote producción generando una reducción en el mismo.

- El desarrollo de problemas de optimización como el presentado, desde el punto de vista académico logra ser bastante interesante puesto que se está adaptando y desarrollando una nueva perspectiva para dar respuesta a una nueva exigencia del mercado. Sin embargo, gran parte de los resultados de estas prácticas dependen de la capacidad de las compañías, de sus proveedores y de la capacidad que presente el sistema de trazabilidad, el cual no hizo parte de esta investigación pero del que se comentó las diferentes técnicas para aplicar la trazabilidad identificando falencias y fortalezas de cada una.
- Del mismo modo se puede comentar que la aplicación de elementos como la trazabilidad aun no presentan bastante interés en el mercado nacional, esto debido a la carencia de normativas para el control del ciclo de vida de los productos en especial de los alimentos. En la actualidad la aplicación de herramientas como la trazabilidad en el territorio colombiano no es exigida sino optativa.
- A través de esta investigación se pudo identificar que la cantidad de producto terminado a enviarse por cada entrega pactada con el cliente tiene una gran incidencia en el tamaño del lote de producción puesto que lo limita a valores múltiplos de esta cantidad.
- La penalización por artículo que no satisface al cliente altera el tamaño del lote de producción disminuyéndolo con el objetivo de reducir las cantidades que llegan fuera del tiempo de ciclo acordado.
- El objetivo de reducir únicamente la dispersión del lote genera una disminución en el tamaño del lote de producción incrementando los costos de ordenar y por ende la función de costo total.
- Como conclusión final, se puede resaltar que esta investigación permitió la integración de diferentes conceptos con el objetivo de ajustar el tamaño de lote de producción a situaciones de la realidad con lo que se brinda una solución más ligada a la actualidad, acorde a las fluctuaciones y a las exigencias del mercado.

12. BIBLIOGRAFÍA

ABDUL- JALBAR B., Beatriz. 2005. Distribution Systems: Advances in Inventory Management. Thesis doctoral degree. La Laguna. Universidad de La Laguna, Departamento de Estadística, Investigación Operativa y Computación. 2005. 177 p.

Agencia Española de Seguridad Alimentaria. 2004. *Guía para la Aplicación del Sistema de Trazabilidad en la empresa.* Madrid : s.n., 2004.

AGUDELO, Isabel. 2005. [En línea] Marzo de 2005. [Citado el: 18 de Abril de 2009.] Identificación única de mercancías: el estándar EAN.UCC y la trazabilidad. <http://www.aprenderiac.com/esp/Publicaciones/Documentos/aprender/IAC/Memorias/2.%20Herramientas%20EAN.UCC%20Isabel%20Agudelo.pdf>.

BASNETA, Chuda and LEUNGB, Janny M.Y. 2005. Inventory lot-sizing with supplier selection. *Computers & Operations Research*. 2005. Vol. 32, pp. 1-14. Disponible en ScienceDirect Research Databases.

BÉDARD, François. 2007. [En línea] 2007. [Citado el: 19 de Septiembre de 2008.] El Sistema Canadiense de Identificación y Trazabilidad para Porcinos. <http://webiica.iica.ac.cr/reuniones/trazabilidad/docs/Seminario/Porcinos/Sist.TrazabilidadPorcinos.pdf>.

CHASE, Richard B., JACOBS, F. Robert and AQUILANO, Nicholas J. 2005. *Administración de la Producción y Operaciones para una ventaja competitiva.* Decima Edición. México, D.F. : McGraw-Hill Interamericana, 2005. p. 608. ISBN 970-10-4468-1.

CHAVARRIAGA P., José Fernando. 2008. Evaluación y optimización del capital de trabajo neto operativo como herramienta de mejora en empresas del sector real. Medellín, Antioquia, Colombia : s.n., 2008. Vol. 2, págs. 239-261.

COLLAO PEREZ, Rubén. 2004. [En línea] 15 de Octubre de 2004. [Citado el: 2 de Febrero de 2010.] MÓDULO 3 Planificación y control de la producción. Proyecto “Capacitación a Asociaciones de Productores Rurales y Organizaciones Económicas Campesinas”. <http://www.cep.org.bo/files/pub/Modulo%203.pdf>.

CORREA ESPINAL, Alexander and GÓMEZ MONTOYA, Rodrigo. 2009. TEGNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN EN LA CADENA DE SUMINISTRO. *REDALYC Sistema de Información*

Científica. Marzo 2009. Vol. 76, 157, pp. 37-48. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=49611942004>.

CRESPO FRANCO, T. and GARCIA VAZQUEZ, J.M. 1996. SISTEMAS DE PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE LA FABRICACIÓN: ANÁLISIS COMPARATIVO. 1996. Vol. 2, 1, pp. 101-124. Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa.

DEL VIGO CARCIA, Inmaculada and VILLANUEVA CASTRILLON, José. 2009. www.tecnicaindustrial.es. [Online] Enero - Febrero 2009. [Cited: Diciembre 12, 2009.] Reducción de tiempos de fabricación con el Sistema SMED. <http://www.tecnicaindustrial.es/TIAdmin/Numeros/55/40/a40.pdf>.

DENIZEL, Meltem, ERENGÜÇ, Selçuk and BENSON, Harold P. 1997. Dynamic lot-sizing with setup cost reduction. *European Journal of Operational Research*. Gainsville, USA : s.n., Agosto 1, 1997. Vol. 100, pp. 537-549. Disponible en ScienceDirect Research Databases.

DOMINGUEZ MACHUCA, José Antonio, et al. 1995. *DIRECCIÓN DE OPERACIONES Aspectos Tácticos y Operativos en la Producción y los Servicios*. Primera Edición. Madrid : Mc Graw Hill, 1995. pp. 137-143. ISBN 84-481-1803-0.

DUPUY, C., BOTTA-GENOULAZ, V. and GUINET, A. 2005. Batch dispersion model to optimise traceability in food industry. *Journal of Food Engineering*. 2005. Vol. 70, pp. 333-339. Disponible en ScienceDirect Research Databases.

Europe, ECR (Efficient Consumer Response). S.F.. [En línea] S.F. [Citado el: 24 de Septiembre de 2008.] Usando la Trazabilidad como herramienta para satisfacer las expectativas de seguridad del consumidor. http://www.cytali.org/tiki/tiki-download_file.php?fileId=137.

EVERETT, Adam and RONALD, Ebert. 1991. *Administración de la Producción y las Operaciones. Conceptos, modelos y funcionamiento*. Cuarta Edición. s.l. : Prentice Hall Inc., 1991. pp. 505-507. ISBN 0-13-725029-0.

FARZANEH, Fazel, FISCHER, Klaus P. and GILBERT, Erika W. 1998. JIT purchasing vs. EOQ with a price discount: An analytical comparison of inventory costs. *International Journal of Production Economics*. 1998. Vol. 54, pp. 101-109. Disponible en ScienceDirect Research Databases.

GOLAN, Elise, et al. 2004. [Online] Agricultural Economic Report Number 830, Marzo 18, 2004. [Cited: Enero 9, 2009.] Traceability in the U.S. Food Supply: Economic Theory and Industry Studies. <http://www.ers.usda.gov/Publications/AER830/>.

GS1 México. 2008. [En línea] 2008. [Citado el: 15 de Noviembre de 2009.] Modelo de Trazabilidad. http://www.traza.me/docs/Presentacion_Trazabilidad_250509.pdf.

IAC Colombia. 2005. [En línea] 8 de Septiembre de 2005. [Citado el: 3 de Abril de 2009.] Sesión 2 Como implementar un sistema de Trazabilidad. http://www.iacolombia.org/images/iac/Publicaciones/Sesion%202_COMO%20IMPLEMENTAR%20UN%20SISTEMA%20DE%20TRAZABILIDAD.pdf.

ICONTEC. 2000. *Sistemas de gestión de la calidad - Conceptos y vocabulario. NTC-ISO 9000.* Bogotá : El Instituto, 2000. pág. 13.

JACQUEMENT, Sophie. 2002. [Online] Septiembre 2002. [Cited: Septiembre 24, 2009.] INTRODUCTION TO TRACEABILITY. <http://fdta.qc.ca/docs/2002%20septembre%20-%20Introduction%20ANG.pdf>.

KARIMI, B., FATEMI GHOMIA, S.M.T. and WILSON, J.M. 2003. The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms. *Omega The International Journal of Management Science*. 2003. Vol. 31, pp. 365-378. Disponible en ScienceDirect Research Databases.

KHANA, Lutfar R. and SARKER, Ruhul A. 2002. An optimal batch size for a JIT manufacturing system. *Computers & Industrial Engineering*. 2002. Vol. 42, pp. 127-136. Disponible en ScienceDirect Research Databases.

KRAJEWSKI, Lee J. and RITZMAN, Larry P. 2000. *Administración de Operaciones. Estrategia y análisis.* Edición Quinta. s.l. : Pearson Educación de México, 2000. pp. 547-549. ISBN 968-444-411-7.

KRAJEWSKI, Lee J., et al. 1987. Kanban, MRP, and Shaping the Manufacturing Environment. *Management Science*. Junio 1987. Vol. 33, pp. 39 - 57. Disponible en JSTOR Research Databases.

KUMAR, Sameer and BUDIN, Erin M. 2006. Prevention and management of product recalls in the processed food industry: a case study based on an exporter's perspective. *Technovation*. 2006. Vol. 26, pp. 739-750. Disponible en ScienceDirect Research Databases.

LOOS, Peter. 2001. *Sitio web de AIS Electronic Library (AISeL).* [En línea] 2001. [Citado el: 16 de Septiembre de 2009.] Gozintographs for By-Products and Cyclic Production: an Approach for ERP System Application. <http://aisel.aisnet.org/cgi/viewcontent.cgi?article=1654&context=amcis2001>.

2007. LUKOR.COM. [Online] Mayo 2, 2007. [Cited: Octubre 17, Octubre.] Fisher Price retira del mercado de EEUU más de 80 tipos de juguetes por contener sus pinturas exceso de plomo. <http://www.lukor.com/hogarysalud/noticias/0708/02121157.htm>.

MELLADO, Rodrigo. 2009. [En línea] 8 de Octubre de 2009. [Citado el: 17 de Marzo de 2010.] IDENTIFICACION Y TRAZABILIDAD EN LA CADENA LOGISTICA. http://www.agendapyme.cl/intranet/user/web/document/Curso_Trazabilidad-Aplicaciones.pdf.

PARRA G., Francisca. S.F.. [En línea] S.F. [Citado el: 4 de Mayo de 2009.] Gestión de Stocks y Modelo Clasico. <http://externos.uma.es/cuadernos/pdfs/pdf186.pdf>.

PRIETO FRANZOY, Alejandro. 2005. [En línea] 2005. [Citado el: 2 de Febrero de 2009.] ESTÁNDARES Y TRAZABILIDAD. <http://www.fdf.cl/files/PRESENTACIONES/12%20GS1.pdf>.

REGATTIERI, A., GAMBERI, M. and MANZINI, R. 2007. Traceability of food products: General framework and experimental evidence. *Journal of Food Engineering*. Enero 8, 2007. Vol. 81, pp. 347–356. Disponible en ScienceDirect Research Databases.

REUTERS. 2007. ELMUNDO.ES. [En línea] 2 de Agosto de 2007. [Citado el: 17 de Octubre de 2008.] Mattel retirará 1,5 millones de juguetes con exceso de plomo en la pintura. <http://www.elmundo.es/mundodinero/2007/08/02/economia/1186021060.html>.

SALAMEH, M.K. and JABER, M.Y. 2000. Economic production quantity model for items with imperfect quality. *International Journal Of Production Economics*. Beirut, Libano : s.n., 2000. Vol. 64, pp. 59-64.

TÖYRYLÄ, Ilkka. 1999. Realising the potential of traceability - A case study research on usage and impacts of product traceability. Dissertation for the degree of Doctor of Technology. *MATHEMATICS, COMPUTING AND MANAGEMENT IN ENGINEERING*. Helsinki, Finland : s.n., 1999. Vol. 97, p. 211.

VAN DORP, C. A., BEULENS, A.J.M. and BEERS, G. S.F.. Gozinto Graphs for Tracking and Tracing: an Approach for Information Systems. S.F. <http://www.atoapps.nl/klicware/docs/KM->

080/Wet.%20art.%20Gozinto%20Graphs%20for%20Tracking%20and%20Tracing%20-%20an%20approach%20for%20information%20systems.pdf.

VAN DORP, C.A. 2003. EFITA, European Federation for Information Technologies in Agriculture. [En línea] Julio de 2003. [Citado el: 25 de Abril de 2010.] <http://www.efita.net/apps/accesbase/bindocload.asp?d=5337&t=0&identobj=2KLpR26f&uid=57305290&sid=57&idk=1>.

WANG, X., et al. 2010. A production planning model to reduce risk and improve operations management. *International Journal of Production Economics*. 2010. Vol. 124, pp. 463-474. Disponible en ScienceDirect Research Databases.

WHITE, Richard E. and PRYBUTOK, Victor. 2001. The relationship between JIT practices and type of production system. *OMEGA The International Journal of Management Science*. 2001. Vol. 29, pp. 113-124. Disponible en ScienceDirect Research Databases.

ANEXOS

ANEXO 1. Resultados del caso de estudio.

Global optimal solution found at iteration:	93
Objective value:	\$ 532.842.600

Variable	Value	Reduced Cost
DM	8450	0
CA	\$ 85.000.000	0
CP	\$ 1.000	0
TP	8500	0
LAMDA	0,15	0
CF	\$ 4.500	0
XP	500	0
PV	\$ 6.500	0
VU	100	0
VC	75	0
VM	55	0
VHV	120000	0
TS	4	0
CS	\$ 143.650.000	0
CM	\$ 288.111.200	0
CR	\$ 84.035.250	0
CH	\$ 2.786.765	0
CO	\$ 14.259.380	0
ET	3,75	0
EE	0	3802496
EP	10	-7633112
QT	5000	0
TC	40	0
QF	1875	0
YY	1	1,43E+07
DL	28	0
RK(1)	0,25	0
RK(2)	0,25	0

RK(3)	0,2	0
RK(4)	0,1	0
RK(5)	0,2	0
QK(1)	1250	0
QK(2)	1250	0
QK(3)	1000	0
QK(4)	500	0
QK(5)	1000	0
CI(1, 1)	\$ 18.000	0
CI(1, 2)	\$ 30.000	0
CI(1, 3)	\$ 28.000	0
CI(1, 4)	\$ 43.000	0
CI(1, 5)	\$ 61.000	0
CI(2, 1)	\$ 19.000	0
CI(2, 2)	\$ 35.000	0
CI(2, 3)	\$ 25.000	0
CI(2, 4)	\$ 48.000	0
CI(2, 5)	\$ 59.000	0
CI(3, 1)	\$ 22.000	0
CI(3, 2)	\$ 34.000	0
CI(3, 3)	\$ 23.000	0
CI(3, 4)	\$ 40.000	0
CI(3, 5)	\$ 60.000	0
CI(4, 1)	\$ 17.000	0
CI(4, 2)	\$ 29.000	0
CI(4, 3)	\$ 26.000	0
CI(4, 4)	\$ 51.000	0
CI(4, 5)	\$ 64.000	0
CI(5, 1)	\$ 16.000	0
CI(5, 2)	\$ 36.000	0
CI(5, 3)	\$ 29.000	0
CI(5, 4)	\$ 52.000	0
CI(5, 5)	\$ 65.000	0
CI(6, 1)	\$ 23.000	0
CI(6, 2)	\$ 27.000	0
CI(6, 3)	\$ 30.000	0
CI(6, 4)	\$ 29.000	0
CI(6, 5)	\$ 55.000	0
CPI(1, 1)	210	0
CPI(1, 2)	220	0

CPI(1, 3)	170	0
CPI(1, 4)	140	0
CPI(1, 5)	175	0
CPI(2, 1)	210	0
CPI(2, 2)	220	0
CPI(2, 3)	170	0
CPI(2, 4)	140	0
CPI(2, 5)	175	0
CPI(3, 1)	210	0
CPI(3, 2)	220	0
CPI(3, 3)	170	0
CPI(3, 4)	140	0
CPI(3, 5)	175	0
CPI(4, 1)	210	0
CPI(4, 2)	220	0
CPI(4, 3)	170	0
CPI(4, 4)	140	0
CPI(4, 5)	175	0
CPI(5, 1)	210	0
CPI(5, 2)	220	0
CPI(5, 3)	170	0
CPI(5, 4)	140	0
CPI(5, 5)	175	0
CPI(6, 1)	210	0
CPI(6, 2)	220	0
CPI(6, 3)	170	0
CPI(6, 4)	140	0
CPI(6, 5)	175	0
RI(1, 1)	0,3	0
RI(1, 2)	0,6	0
RI(1, 3)	0,2	0
RI(1, 4)	0,7	0
RI(1, 5)	0,4	0
RI(2, 1)	0,1	0
RI(2, 2)	0,4	0
RI(2, 3)	0,3	0
RI(2, 4)	0,8	0
RI(2, 5)	0,5	0
RI(3, 1)	0,2	0
RI(3, 2)	0,1	0

RI(3, 3)	0,4	0
RI(3, 4)	0,1	0
RI(3, 5)	0,7	0
RI(4, 1)	0,5	0
RI(4, 2)	0,3	0
RI(4, 3)	0,1	0
RI(4, 4)	0,6	0
RI(4, 5)	0,6	0
RI(5, 1)	0,6	0
RI(5, 2)	0,2	0
RI(5, 3)	0,5	0
RI(5, 4)	0,3	0
RI(5, 5)	0,1	0
RI(6, 1)	0,4	0
RI(6, 2)	0,5	0
RI(6, 3)	0,6	0
RI(6, 4)	0,2	0
RI(6, 5)	0,3	0
QI(1, 1)	210	0
QI(1, 2)	220	0
QI(1, 3)	170	0
QI(1, 4)	140	0
QI(1, 5)	175	0
QI(2, 1)	210	0
QI(2, 2)	220	0
QI(2, 3)	170	0
QI(2, 4)	1,00E-06	0
QI(2, 5)	175	0
QI(3, 1)	210	0
QI(3, 2)	220	0
QI(3, 3)	170	0
QI(3, 4)	140	0
QI(3, 5)	175	0
QI(4, 1)	210	0
QI(4, 2)	220	0
QI(4, 3)	170	0
QI(4, 4)	1,00E-06	0
QI(4, 5)	175	0
QI(5, 1)	210	0
QI(5, 2)	150	0

QI(5, 3)	170	0
QI(5, 4)	80	0
QI(5, 5)	125	0
QI(6, 1)	200	0
QI(6, 2)	220	0
QI(6, 3)	150	0
QI(6, 4)	140	0
QI(6, 5)	175	0
YI(1, 1)	1	697125,2
YI(1, 2)	1	2712450
YI(1, 3)	1	1073150
YI(1, 4)	1	3637725
YI(1, 5)	1	2112500
YI(2, 1)	1	-595724,9
YI(2, 2)	1	2923700
YI(2, 3)	1	1035125
YI(2, 4)	0	5644536
YI(2, 5)	1	2344875
YI(3, 1)	1	1292850
YI(3, 2)	1	80275,07
YI(3, 3)	1	1284400
YI(3, 4)	1	-2015325
YI(3, 5)	1	4288375
YI(4, 1)	1	1989975
YI(4, 2)	1	-130974,8
YI(4, 3)	1	-325325
YI(4, 4)	0	4706749
YI(4, 5)	1	4647500
YI(5, 1)	1	2458950
YI(5, 2)	1	1647750
YI(5, 3)	1	3832075
YI(5, 4)	1	2471625
YI(5, 5)	1	823875
YI(6, 1)	1	3295500
YI(6, 2)	1	773175,4
YI(6, 3)	1	4943250
YI(6, 4)	1	-3794050
YI(6, 5)	1	-485874,7

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	5,33E+08	-1
2	0	-3802496
3	0	38870
4	0	60839,99
5	0	50699,99
6	0	87879,99
7	0	109850
8	0	-38870
9	0	-60839,99
10	0	-50699,99
11	0	-87879,99
12	0	-109850
13	0	8449,999
14	0	10140
15	0	3379,999
16	0	15210
17	0	6759,999
18	0	6759,999
19	0	1690
20	0	8449,999
21	-1,00E-06	6760,454
22	0	10140
23	0	1690
24	0	3380
25	0	11830
26	0	20280
27	0	8449,999
28	0	10140
29	0	11830
30	0	6760
31	-1,00E-06	1689,291
32	0	1690
33	0	11830
34	70	0
35	0	1690
36	60	0
37	50	0
38	10	0
39	0	15210

40	20	0
41	0	38870
42	0	16900
43	0	23363,86
44	625	0
45	5000	0
46	0	0
47	0	-1
48	0	-1
49	0	-1
50	-1,49E-08	-1
51	0	-7604,992
52	119996,2	0
53	3,75	0
54	0	-1
55	119996,2	0
56	0	0
57	0	0
58	1,44E+08	0
59	2,88E+08	0
60	8,40E+07	0
61	2786765	0
62	1,43E+07	0