



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

**IMPACTO DE ESTRATEGIAS TÁCTICAS
EN LOS NIVELES DE SERVICIO AL
CLIENTE DE UNA EMPRESA
VITIVINÍCOLA MEDIANTE LA
UTILIZACION DE UN MODELO DE
SIMULACIÓN DISCRETA**

ALEJANDRO ANDRÉS SÁNCHEZ LOYOLA

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
SERGIO MATURANA VALDERRAMA

Santiago de Chile, (Abril, 2008)

© 2008, Alejandro Andrés Sánchez Loyola



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

**IMPACTO DE ESTRATEGIAS TÁCTICAS EN
LOS NIVELES DE SERVICIO AL CLIENTE DE
UNA EMPRESA VITIVINÍCOLA MEDIANTE LA
UTILIZACION DE UN MODELO DE
SIMULACIÓN DISCRETA**

ALEJANDRO ANDRÉS SÁNCHEZ LOYOLA

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

SERGIO MATURANA V.

ALFREDO SERPELL B.

MIGUEL ALFARO M.

ÁLVARO SOTO A.

Para completar las exigencias del grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, (Abril, 2008)

A mis padres, Marcela y Roberto, a mi familia y cercanos quienes me alentaron constantemente para cumplir mis metas.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, mis agradecimientos a mi profesor guía, Sr. Sergio Maturana, por su apoyo constante durante los momentos en la cual sus consejos y recomendaciones fueron claves para salir adelante con esta investigación.

En segundo lugar, quiero agradecer a mis compañeros de oficina con los cuales compartí gran parte de esta investigación. Sus aportes, consejos y constante apoyo fueron muy importantes para alcanzar este objetivo, así como también los momentos compartidos dentro y fuera de esa oficina.

En tercer lugar, darle las gracias a toda mi familia, amigos y cercanos quienes me escucharon en cada momento de duda o problema que enfrenté.

Finalmente, quiero agradecer a los profesores integrantes de la comisión de defensa de esta tesis, los cuales aceptaron amablemente a participar en ella.

INDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA.....	9
3.1 Relaciones de las empresas chilenas con los clientes	10
4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	12
4.1. Características de los Productos.....	12
4.2. Características de las Plantas de Producción	13
4.3. Características del Proceso Productivo	14
4.3.1. Tiempos de Setup	14
4.3.2. Sistema de Producción.....	15
4.3.3. Lotes de Producción	16
4.3.4. Asignación de Órdenes de Fabricación en Líneas.....	16
4.4. Principales Etapas	17
4.5. Metodología	20
5. MODELO DE SIMULACIÓN.....	21
5.1. Modelo Conceptual.....	21
5.2. Generalidades del Modelo.....	22
5.3. Entidades del Sistema	22
5.4. Variables de Estado.....	23
5.5. Parámetros del Modelo	24

5.6. Resultados	25
5.7. Supuestos.....	26
5.8. Validación del Modelo	28
6. ANÁLISIS DEL SISTEMA Y RESULTADOS	29
6.1. Caso de la Situación Actual: Producción MTO	29
6.1.1. Sensibilidad a la demanda	30
6.1.2. Cambios en políticas de atención al cliente.....	34
6.2 Experimentos: Producción Híbrida MTO-MTS.....	37
6.2.1. Elección de Productos.....	37
6.2.2. Sistema de Atención de Órdenes	39
6.2.3. Nivel de Inventarios.....	40
6.2.4. Resultados.....	41
6.3 Implementación.....	45
7. CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFIA	50
A N E X O S	53
Anexo A: ESTRATEGIAS PRODUCTIVAS	54
Anexo B: MODELO DE SIMULACIÓN.....	55
Anexo C: DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE RÉPLICAS.....	62
Anexo D: ANÁLISIS DE VARIABILIDAD DE PRODUCTOS	63
Anexo E: DETERMINACIÓN DE LA POLÍTICA DE INVENTARIO	64
Anexo F: TABLAS DE DATOS	67
Anexo G: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS.....	78

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 6-1: Resumen de sensibilidad ante la demanda	34
Tabla 6-2: Comparación de caso 1 y 3 con respecto a caso base.....	34
Tabla 6-3: Sensibilidad de ICA con respecto a cambio de política	37
Tabla 6-4: Resumen de resultados de caso base y experimentos 1 y 2.....	42
Tabla 6-5: Sensibilidad de experimentos ante cambios de tipo de clientes	44
Tabla B-1: Cantidad de materiales por pedido según clase de vino	55
Tabla B-2: Tamaños de lotes de producción según clase de vino.....	56
Tabla B-3: Tiempos de setup según línea de producción	56
Tabla B-4: Velocidades según línea de producción	56
Tabla B-5: Tabla de probabilidades de tipo de cliente.....	57
Tabla B-6: Tabla de probabilidades de clase de vino	58
Tabla D-1: Tabla de probabilidades de clase de vino	63
Tabla E-1: Niveles de Inventario 95% Experimento 1 (L = 5 días)	65
Tabla E-1: Niveles de Inventario 95% Experimento 2 (L = 8 días)	66
Tabla F-1: Resultados Caso 1: Sistema con 20% menos de demanda.....	68
Tabla F-2: Resultados Caso 2: Sistema con demanda normal	69
Tabla F-3: Resultados Caso 1: Sistema con 20% más de demanda.....	70
Tabla F-4: Caso base con cambios en la política de atención al cliente	71

Tabla F-5: Producción Híbrida con 4 productos MTS.....	72
Tabla F-6: Producción Híbrida con 2 productos MTS.....	73
Tabla F-7: Experimento 1 con cambios en la política de atención al cliente.....	74
Tabla F-8: Experimento 2 con cambios en la política de atención al cliente.....	75
Tabla F-9: Inventario Promedio en Experimento 1.....	76
Tabla F-10: Inventario Promedio en Experimento 2.....	77

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 5-1: Modelo Conceptual	21
Figura 5-2: Visión General del Modelo	26
Figura 5-3: Funcionamiento de cola y líneas productivas	27
Figura 6-1: Índice de cumplimiento de pedidos versus tiempo	31
Figura 6-2: Tiempo promedio de pedidos en sistema versus tiempo.....	33
Figura 6-3: Sensibilidad al tipo de cliente	36
Figura 6-4: Variabilidad de la demanda semanal.....	38
Figura 6-5: Comparación de estrategias.....	45
Figura B-1: Etapa de análisis de pedido de clientes.....	58
Figura B-2: Bloque de generación de pedido.....	59
Figura B-3: Bloque de asignación de cantidad de materiales por pedido.....	59
Figura B-4: Etapa 1 de formación de lotes para producto “i”	59
Figura B-5: Etapa 2 de formación de lotes para producto “i”	60
Figura B-6: Etapa 3 de formación de lotes para producto “i”	60
Figura B-7: Línea de producción “i”	61

RESUMEN

Actualmente, la industria vitivinícola mundial está enfrentando un escenario cada vez más competitivo como resultado del alto número de empresas intentando acceder a nuevos mercados. Los importadores de vino son la clave al acceso de estos nuevos mercados. Su necesidad principal es mantener relaciones con empresas que ofrezcan un servicio confiable con tiempos de respuesta y tasas de cumplimiento apropiados.

Esta investigación, estudia el impacto producido por la utilización de estrategias híbridas MTO/MTS en una empresa vitivinícola. Para resolver esto, se utiliza un modelo de simulación para replicar una planta procesadora de vino. Este modelo considera el ciclo desde que el pedido llega a la empresa hasta que este es completado y despachado a los importadores. Además, se considera la creación de diferentes tipos de productos y tipos de clientes determinados por sus tiempos de respuesta. Los experimentos miden el impacto por la producción de algunos productos bajo una estrategia MTO y otro con una estrategia MTS, considerando como caso base una estrategia completamente MTO. También, es estudiado el efecto causado por el cambio de los tiempos de respuestas de los diferentes clientes combinado con las estrategias híbridas.

Los resultados obtenidos cuantifican las mejoras alcanzadas en los niveles de servicio al cliente. Diferentes estrategias híbridas fueron elegidas para medir diferentes combinaciones entre los productos. Los resultados mostraron que incrementando el número de productos bajo una estrategia MTS entrega como resultados mejores desempeños pero no necesariamente un mayor impacto, mostrando un comportamiento decreciente. Los resultados tienen como propósito principal ilustrar y medir el desempeño de una empresa vitivinícola aplicando estrategias de mediano plazo.

Palabras claves: MTS (producir-contra-inventario), MTO (producir-contra-pedido), industria vitivinícola, estrategias de mediano plazo, tiempos de respuesta, tasas de cumplimiento de órdenes, nivel de servicio.

ABSTRACT

Nowadays, worldwide wine industry is facing a more competitive scenario as a result of the high number of wine companies, trying to access new markets. Wine importers are the key to those markets. Their primary need is to establish relationship with firms which offer a reliable service with appropriate lead times and fill rate.

This investigation, studies the impact produced by the utilization of (make-to-order/make-to-stock) MTO/MTS hybrid strategies in a wine industry firm. To solve this, a simulation model is utilized to replicate a wine processing facility. This model considers analyzing and processing stages, that is to say, the cycle since the order arrives to company until it get completed and delivered to importers. Besides, it is considered the creation of different kinds of products and client types determined by its lead times. The experiments measure the impact by producing some products under a MTO strategy and other with a MTS strategy, having as a base case a purely MTO strategy. Also, it is studied the effect caused by changing the lead times of the different clients combined with hybrid strategies.

The obtained results quantify the improvements achieved in client service level. Different hybrid strategies were chosen to measures various arrangements between the products. Results showed that increasing the number of products under a MTS strategy has as a result a better performance but not necessarily a greater impact, showing a decreasing behavior. The results have as a main purpose, to illustrate and measure the performance of a wine industry firm applying mid-term strategies.

Keywords: MTS (make-to-stock), MTO (make-to-order), wine industry, mid-term strategies, lead times, order fill rate, service level

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la industria vitivinícola se encuentra enfrentada a escenarios cada vez más exigentes y competitivos. La constante apuesta mundial por ofrecer mejores servicios hacia sus clientes deriva en la mejora continua de las empresas, y en la búsqueda de un mayor grado de personalización, flexibilidad y capacidad de reacción frente a las necesidades del cliente (Arreola-Risa y DeCroix, 1998; Zhang y Efstathiou, 2006).

Si bien, desde el punto de vista de la cadena de abastecimiento o *supply chain* los actores que se encuentran en la parte superior de la cadena son los mismos para el mercado nacional e internacional, el segmento inferior es algo diferente. En el mercado nacional nos encontramos con la relación directa entre las empresas productoras de vino y los minoristas, en cambio, internacionalmente, los productores o viñas tienen que relacionarse con los importadores siendo estos últimos, los clientes. En este sentido, las viñas no tienen un contacto directo con los clientes internacionales finales, recibiendo órdenes directamente de los importadores, quienes normalmente demandan un *lead time* (o tiempo de respuesta) que varía entre 3 a 5 semanas dependiendo de la ubicación geográfica del cliente, el tipo de relación que establecen (corto o largo plazo), entre otros.

La necesidad de cumplir a tiempo cada una de las órdenes recibidas obliga a las empresas a alcanzar los intereses de los clientes o importadores. El mal desempeño en el servicio de las empresas puede verse castigado a largo plazo por parte de los importadores, optando por empresas que sí cumplan sus plazos con un alto grado de confiabilidad. Finalmente, se puede llegar a tener como consecuencia la pérdida de algún mercado potencialmente importante, debido a que el importador es la puerta de acceso a esos mercados.

De acuerdo a lo anterior, la búsqueda de nuevas prácticas y estrategias se convierte en un aspecto fundamental de estudio, con el fin de mejorar la cadena de

abastecimientos afectando directamente el desempeño de la empresa. Desde un punto de vista estratégico, se pueden identificar las prácticas colaborativas las cuales buscan un esfuerzo conjunto entre los distintos actores de la cadena con el fin de lograr un mejor funcionamiento de la cadena (Maturana y Arancibia, 2004; Santibañez, 2006; Byrne y Heavey, 2006). A mediano plazo también existen prácticas internas que pueden ser realizadas por las empresas. En muchos casos, realizar estrategias con los clientes puede ser algo difícil, debido a que probablemente la participación de la empresa vitivinícola dentro del negocio del importador no sea de un tamaño que justifique una práctica colaborativa.

Es por esto que la investigación se centra en decisiones a nivel táctico, es decir, decisiones a mediano plazo que se puedan implementar teniendo como objetivo principal la satisfacción del cliente. En De Treville, Shapiro y Hameri (2004) se presenta un trabajo en el cual se propone la reducción de los tiempos de respuesta como una primera meta en la mejora del desempeño de la cadena de suministro, desplazando la importancia de compartir la información dentro de la cadena a un segundo lugar. Es decir, señala que en primer lugar es necesario lograr una mejora interna de la empresa para luego proceder a nuevas prácticas que abarquen más empresas. En este sentido, la simulación se presenta como una buena herramienta para lograr medir el impacto que tendría la implementación de diferentes medidas dentro de una empresa vitivinícola, con el fin de analizar las distintas alternativas que pueda implementar la empresa para satisfacer sus demandas.

La hipótesis de este trabajo se basa en que mediante la utilización de estrategias de de nivel táctico o de mediano plazo dentro de la industria vitivinícola es posible lograr efectos positivos sobre los tiempos de respuesta ofrecidos a los diferentes clientes derivando en el aumento de la tasa de cumplimiento de los pedidos.

El estudio se centra en medir el impacto que tendría en el desempeño de la empresa la aplicación de las estrategias señaladas anteriormente. Los principales objetivos a desarrollar en este proyecto son:

- Identificar y definir los principales procesos y problemas que se presentan en una empresa vitivinícola chilena.
- Construir un modelo que represente a grandes rasgos y de forma adecuada el funcionamiento de la empresa desde la recepción de las órdenes hasta su despacho a los distintos clientes y mercados.
- Analizar el comportamiento en el mediano plazo de distintas estrategias, mediante la creación de experimentos y su aplicación mediante simulación de eventos discretos.
- Evaluar y cuantificar el impacto global que presentaría en la realidad la utilización de nuevas estrategias productivas de mediano plazo a partir de los resultados obtenidos del modelo de simulación.

La tesis se organiza como sigue. En el capítulo 2, se realiza la revisión del estado del arte. En el capítulo 3, se realiza la presentación de la situación actual de la industria vitivinícola. En el capítulo 4, se presenta el problema a estudiar en esta investigación. En el capítulo 5, se explica el modelo usado para representar el funcionamiento de una empresa vitivinícola. En el capítulo 6, se presentan el análisis al sistema actual y experimentos a realizar en el sistema junto a sus resultados. Finalmente, conclusiones y futuras investigaciones se presentan en el capítulo 7.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El servicio al cliente en la industria vitivinícola es un aspecto importante a considerar. Esta área se ve representada principalmente por la tasa de cumplimiento de los *lead times* o tiempos de respuesta ofrecidos a los clientes.

Existe una gran cantidad de literatura destinada al estudio de los *lead times*. La importancia de la reducción de estos se puede ver representada en Yücesan y De Groot (2000), ellos exponen su relación directa en el desempeño de la producción, determinación de inventarios, WIP (*work-in-process*), servicio al cliente, entre otros. Para demostrar lo planteado, desarrollan una simulación en donde utilizan diferentes estrategias de liberación de órdenes (e.g. *pull*, *push*, *long-pull*) sometidas a distintos niveles de variabilidad en parámetros como la demanda, tiempos de procesamientos y niveles de WIP. Para analizar el sistema se realiza un análisis factorial 2^k , y se realiza la medición del desempeño de variables tales como los *lead times* y el *throughput*, frente a los distintos escenarios construidos. Como resultado de este experimento, se afirma que la elección de la estrategia depende en gran parte a los niveles de incertidumbre que enfrentará la estrategia seleccionada, destacando el funcionamiento de la estrategia *long-pull* la cual consiste en mantener un inventario constante entre cada etapa de producción. Siguiendo con el mismo estudio, Masuchun, Davis y Patterson (2004) realizan una investigación de las estrategias de producción *push* y *pull*, intentando analizar el tipo de relación que existe entre el desempeño de la cadena de abastecimiento y la estrategia seleccionada para afrontarla. Mediante un modelo de simulación y la aplicación de un diseño factorial 2^k analizan y evalúan diferentes situaciones concluyendo, entre varios resultados, que una estrategia *push* entrega un mayor nivel de servicio al cliente y *throughput*, mientras que la estrategia *pull* es favorable en relación al inventario total. Ratificando la importancia de los *lead times*, De Treville, Shapiro y Hameri (2004) afirman que su reducción debería ser el objetivo principal de cualquier empresa que desee mejorar el desempeño de su cadena de suministro, incluso antes de la utilización

de prácticas colaborativas (Maturana y Arancibia, 2004; Santibáñez, 2006; Byrne y Heavey, 2006).

El uso de estrategias productivas de mediano a largo plazo ha sido un tema constante de estudios con el fin de lograr mejoras internas en la empresa. Dentro de las principales estrategias de producción estudiadas, se encuentran *make-to-order* (MTO) y *make-to-stock* (MTS) (Ver Anexo A: Estrategias Productivas). Uno de los primeros estudios de estas estrategias se encuentra en Williams (1984), donde comienza el problema de la decisión de que productos producir bajo que estrategia. Es así como Arreola-Risa y DeCroix (1998) desarrollan un modelo matemático para comparar ambas alternativas y buscan delinear algunas condiciones óptimas para su funcionamiento. El modelo considera una empresa con múltiples productos bajo una política FIFO, y tomando como criterio la disminución de los costos producidos por inventario. Una de sus conclusiones principales es acerca del carácter aleatorio de los tiempos de producción, señalan que comportamiento tiene directa relación con la elección entre las estrategias MTO y MTS, tal como tiempo después lo confirma Yücesan y De Groot (2000) en el estudio mencionado anteriormente. Por otro lado, Federgruen y Katalan (1999) señalan que los componentes para el funcionamiento adecuado de un sistema híbrido MTO/MTS son: 1) Tener reglas adecuadas para saber en que momento cambiar la producción de un producto MTO a uno MTS y 2) una estrategia para saber cuanto producir de un producto MTS en la ausencia de productos MTO. Van Donk (2001) y Soman, Van Donk y Gaalman (2004) abordan el problema tomando como ejemplo base la industria del procesamiento de los alimentos, planteándose el problema de la elección entre la producción de productos contra stock y contra orden. Van Donk (2001) desarrolla un marco teórico para la toma de decisiones pero enfocándose en la decisión estratégica de elegir entre MTS y MTO. Además, se centra en especificar las características y factores claves de esta industria, así como también el funcionamiento de los procesos con el fin de tener claridad al momento de decidir. Este artículo deja en claro la necesidad de contar con una política de reglas de asignación que sean claras, lógicas, y además adaptables al tipo de industria en el cual se este realizando el estudio.

Siguiendo con el mismo estudio, Soman, Van Donk y Gaalman (2004) proponen como metodología la utilización de un marco jerárquico de planificación, el cual entrega una metodología más integral en comparación a la anterior. Aquí se identifican 3 niveles correspondientes a la ventana de tiempo en la cual se está planificando. Desde un punto de vista general, el marco propuesto es una buena herramienta al momento de comenzar a delinear una nueva configuración en la producción. Sin embargo, no posee la profundidad suficiente para estructurar completamente una decisión tan compleja como es el decidir entre MTS y MTO. Entre otros trabajos, también se encuentra Rajagopalan (2002), quién construye un modelo con el fin de analizar las estrategias tomando como base su interacción con variables como el tamaño de lotes y la capacidad de producción instalada.

Más adelante, Kerkkänen (2007) intenta presentar los problemas producidos por la decisión de mover la producción desde una estrategia MTO a una híbrida. Para esto, expone el caso de una fábrica de acero, en la cual intenta visualizar los beneficios y problemas que traería el cambio de política mediante análisis cuantitativos y cualitativos. Por otro lado, se enfoca en señalar la importancia de realizar un análisis desde un punto de vista más global y menos detallado. Además, afirma que este tipo de decisiones generalmente dependen de muchos actores por lo que se producen conflictos de intereses haciendo aún más difícil la toma de decisiones.

Un punto en común entre los trabajos anteriores, radica en la dificultad en la selección de los productos a ser producidos bajo cada política de producción. Huiskonen, Niemi y Pirttila (2003) exponen una metodología basada en la medición de la demanda promedio de cada producto y su variabilidad, de acuerdo a estos dos atributos se selecciona los productos que pueden ser desarrollados bajo una política MTO, MTS o ambas. Es un método bastante útil en el caso que se tenga una gran variedad de productos. Este es el caso presentado en Soman, Van Donk y Gaalman (2007), quienes desarrollan aún más en profundidad su trabajo preliminar incorporando la metodología anterior.

Uno de los temas más interesantes acerca del uso de estrategias MTO y MTS es la proposición de una estrategia híbrida MTO/MTS. En Chang, Pai, Yuan, Wang y Li (2003) una heurística es desarrollada para el control de las actividades de producción (PAC), tomando como base la existencia de un sistema de producción híbrido MTS/MTO. La heurística se enfoca en un plan de control y programación de la producción teniendo como funciones principales: 1) Secuenciar el lanzamiento de las órdenes MTO, 2) Secuenciar el lanzamiento de las órdenes MTS, y 3) Liberar las órdenes planificadas. Para el estudio se programó un modelo de simulación que consideró 4 productos, 2 para cada tipo de orden, este modelo tiene como objetivo evaluar la política de liberación de pedidos propuesta en comparación a otras más comunes (e.g. FIFO). La comparación es realizada en base a las mediciones del WIP, tiempo de ciclo y *throughput* obteniéndose resultados positivos en su aplicación. A pesar de ser una buena propuesta puede resultar complejo de implementar en un modelo de simulación discreta. Otros esfuerzos en la actualidad, teniendo como fin la búsqueda de una programación de órdenes adecuada bajo un sistema de producción híbrida MTO/MTS, pueden ser encontrados en Wu, Jiang y Chang (2007) quienes continúan el trabajo de utilización de estrategias híbridas.

A lo largo de la investigación realizada, el uso de la simulación ha sido una buena herramienta para la evaluación entre alternativas para algún sistema en particular. Es así como en Ganeshan, Boone y Stenger (2001) la sensibilidad de la cadena de suministro es evaluada, tomando en consideración la influencia de algunos parámetros de la planificación de inventarios. Luego, Olhager y Persson (2006) destacan la simulación como una herramienta para lograr la excelencia operacional, plantean que su utilización puede traer beneficios en el estudio de sistemas de producción e inventario. Otro ejemplo de su utilización, es el encontrado en Potter, Yang y Lalwani (2007) quienes realizan el estudio de diferentes estrategias y la reingeniería en la industria del acero. Finalmente, en Calderón y Lario (2007) se presenta un compendio de 40 trabajos sobre la cadena de suministro en donde la simulación ha sido una herramienta de análisis.

La literatura sobre estudios y trabajos en la industria vitivinícola no es muy extensa. Algunos trabajos sobre el tema son Auger (2002), Mac Cawley (2002), Arcos (2004), Bohle (2007) y Ferrer, Mac Cawley, Maturana, Toloza y Vera (2007). Auger (2002) presenta el problema producido en la recepción de la uva en las bodegas de vinificación, y desarrolla un modelo de simulación discreta mediante el cual evalúa la influencia de algunos factores como la incertidumbre en la llegada sobre la calidad final de la uva. Mac Cawley (2002) se enfoca en la problemática de la planificación de la cosecha de uvas. El trabajo consiste en la evaluación de distintos escenarios bajo los 3 niveles de planificación existentes: operacional, táctico y estratégico. Siguiendo con el trabajo anterior, Ferrer, Mac Cawley, Maturana, Toloza y Vera (2008), diseñan un sistema de apoyo para la toma de decisiones en un corto y mediano plazo, siendo evaluado bajo distintos escenarios y considerando los costos operacionales y el costo de pérdida de calidad de la uva. Mas adelante, Bohle (2007) se basa en los modelos de los trabajos anteriores y busca crear un nuevo modelo bajo un enfoque de planificación robusta, el cual permitiría una menor complejidad y mayor beneficio en la solución del problema de cosecha de uvas. Por otro lado, Arcos (2004) realiza un estudio de los procesos de envasado y etiquetado con el fin de evaluar distintas situaciones y estrategias de producción en el corto plazo, obteniendo el impacto de cada una de ellas sobre la producción.

De esta forma, esta tesis pretende continuar con estos estudios en la industria del vino, pero enfocándose en un mediano plazo e intentando implementar estrategias de nivel táctico utilizadas con éxito en otras industrias. El propósito principal es lograr analizar el impacto que puede producir estas estrategias de producción híbridas sobre los tiempos de respuesta ofrecidos a los clientes.

3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA VITIVINÍCOLA

En la actualidad, la industria mundial se está viendo enfrentada cada vez más a nuevos desafíos. La industria se encuentra altamente fragmentada, lo que produce una gran cantidad de oferta derivando en una notable competencia para captar la atención, preferencia y consecuente lealtad del cliente. En esta investigación, el cliente no corresponde al cliente final, sino que al cliente o importador quien es la puerta de entrada a todos los mercados existentes. Esta lealtad va ligada principalmente al servicio integral entregado por la empresa productora, es decir: la atención recibida, el servicio logístico, la calidad final de los productos, entre otros. Por esta razón, se hace imprescindible ofrecer un servicio de alta confiabilidad hacia el importador, de este modo, se puede tener una relación sólida que permita el acceso a los diferentes mercados.

La industria vitivinícola chilena no se encuentra ajena a esta situación mundial. Las empresas productoras también se encuentran altamente fragmentadas, concentrándose las ventas y exportaciones solo en unas pocas. El principal objetivo de estas empresas consiste en aumentar el consumo de vino nacional, y a la vez, aumentar las exportaciones. Existen más de 120 países de exportación en donde destacan, USA, Reino Unido, Alemania y Canadá como los mayores importadores. De hecho, tan solo Europa abarca un 50% del mercado de la exportación mundial. La relación de las empresas importadoras con las empresas vitivinícolas chilenas depende principalmente de su tamaño, comúnmente, las empresas con una mayor participación del mercado poseen importadores exclusivos a los distintos países. Por otro lado, las empresas de menor tamaño deben compartir importadores debido al bajo volumen de exportación presentado.

Los principales competidores que presenta la industria nacional, son los llamados países del Nuevo Mundo correspondientes a Australia, Sudáfrica, Estados Unidos (California), y considerando a países con buenas proyecciones como Argentina y Nueva Zelanda. Al

igual que Chile, estos países compiten buscando un lugar en los principales mercados, y al mismo tiempo que un buen puesto en el portafolio de productos de los importadores.

Por otro lado, se encuentran los países del Viejo Mundo, Francia, Italia, España se destacan como los principales productores de vino. La principal diferencia entre este grupo y los países del Nuevo Mundo, radica en la tradición enológica que presentan los primeros. Esta tradición les permite ser productos imprescindibles en cualquier mercado, este privilegio no lo poseen los países del Nuevo Mundo quienes tienen que promover sus productos para alcanzar los distintos mercados.

Por esta razón, las investigaciones, actuales proyectos y estrategias de estos países tienen como objetivos ofrecer productos de primera calidad a precios razonables con el fin de mantener y aumentar la competitividad en el mercado, y al mismo tiempo, buscar entregar una alta confiabilidad hacia el importador.

A continuación, se presentará como es la relación entre las empresas de la industria chilena con los clientes nacionales e internacionales.

3.1 Relaciones de las empresas chilenas con los clientes

En el mercado nacional, la relación entre empresa y cliente es más estrecha produciéndose en muchos casos una relación directa con algunos clientes lo que permite una relación más estrecha y de mayor comunicación permanente (e.g. supermercados). Por otro lado, se dispone de una mayor flexibilidad de los *lead times* debido a que el despacho se puede producir en un tiempo corto gracias a la cercanía de ambos, y la disponibilidad de producto no es un factor principal para los clientes, al poder realizarse despachos con mayor frecuencia en comparación a pedidos internacionales. En el ámbito internacional, las relaciones son más críticas debido a la alta confiabilidad requerida por los clientes junto a tiempos de despachos mínimos. Principalmente, esta necesidad de cortos tiempos de respuesta tiene como objetivo que los productos estén en el puerto en la fecha adecuada para su despacho marítimo. En casos críticos la necesidad de cumplir en los *lead times*

establecidos, puede llegar al nivel de tomar decisiones costosas como tener que enviar los pedidos directamente a destino vía aérea, incrementando increíblemente los costos. Los pedidos pueden presentar una baja frecuencia especialmente en mercados poco potenciales (e.g. Caribe, África), y la variedad y cantidad de productos por cada pedido puede ser muy variable a lo largo del tiempo, este es el caso de mercados como USA y el Reino Unido. Como se explicó anteriormente, la relación de la empresa productora se da principalmente con los importadores de los distintos mercados, radicando aquí la importancia de cumplir con los clientes con el fin de poder seguir accediendo al correspondiente mercado en el futuro. Para finalizar, se puede concluir que las empresas se ven enfrentadas a una gran cantidad de mercados y clientes, teniendo como consecuencia una alta incertidumbre y gran variabilidad de la demanda.

Como se planteó en el actual capítulo, existe una necesidad por parte de las empresas chilenas de alcanzar un lugar en el portafolio de los importadores. Para lo anterior, es necesario ser una empresa confiable, específicamente que cumpla con los tiempos de respuestas acordados. Teniendo en cuenta esta necesidad se planteará el problema a analizar en la próxima sección.

4. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La necesidad de entregar un servicio confiable por parte de la empresa vitivinícola hacia los diferentes importadores se ha convertido en una preocupación fundamental. El actual crecimiento de la industria ha derivado en la búsqueda de soluciones para enfrentar esta necesidad bajo tales circunstancias. Por otro lado, las características operacionales que presenta una empresa de este tipo hacen aún más compleja la entrega de un rápido servicio.

El principal problema que se abordará en esta investigación tendrá por objetivo enfocarse en la mejora de los niveles de servicio o cumplimiento de pedidos, junto a la disminución de los *lead times*. Para abordar este problema es necesario analizar las diversas complejidades presentes en una empresa real de esta industria, se presentará las características correspondientes a productos, plantas de producción y procesos productivos.

4.1. Características de los Productos

Las empresas de esta industria en general presentan una gran variedad de productos ofrecidos, con distintas calidades y precios con el fin de abarcar la mayor cantidad de nichos en el mercado. Asimismo, el contar con un mayor número de marcas en una tienda permite tener un mayor espacio para ofrecer los productos, que no sería lo mismo si solo se contara con un par de marcas.

La variedad de los productos manejadas anualmente en la empresa pueden llegar a ser mas de 3.000 SKU's o unidades de cajas de diferentes tipos de vinos, marcas, tamaños, entre otros. La diferencia entre estos productos viene dada por el tipo de uva del cual proviene, ya que las uvas para vinos tintos presentan un tratamiento diferente a las de vinos blancos. Por otro lado, en cada tipo de uva se pueden encontrar diferentes cepas: Cavernet Sauvignon, Merlot, Carmenère, Sauvignon Blanc, Chardonnay, Malbec, Syrah, entre otras, pudiendo obtenerse vinos de

diferentes calidades para cada una de ellas. Asimismo, las siguientes subdivisiones de los tipos de vino son presentadas por el tipo de envasado encontrando:

- Botellas de Vidrio: con volúmenes de 1.500, 750, 375 y 187 cc.
- Envases Tetra Pack: con volúmenes de 500, 1000, 1500 y 2000 cc.
- BIB (*bag-in-box*): correspondiente a vinos de menor calidad y precios los cuales son envasados en bolsas que van dentro de una caja de cartón.

En el caso de los productos en botella, el producto final viene dado por la botella, el corcho, la etiqueta, la cápsula (cobertor del corcho) y el vino al interior de la botella. Dentro de estos insumos, la etiqueta corresponde al insumo diferenciador principal, no solo por las distintas marcas, sino que su importancia radica en los mercados o países a donde será exportado. En muchos casos los países tienen regulaciones distintas, al igual que con las cajetillas de cigarro, cada una de las regulaciones exige características especiales.

En la mayoría de los casos, esta gran cantidad de tipos de productos disponibles pueden ser agregados en diferentes tipos de familias de vino, las cuales vienen dadas por la calidad y el precio del vino ofrecido.

4.2. Características de las Plantas de Producción

Las instalaciones para la producción presentan una gran complejidad debido a su alto costo y su bajo número de líneas de producción. La gran variedad de productos produce un manejo diferente en su producción, además de la alta variedad de insumos correspondientes a productos y mercados (e.g. corchos, cápsulas, etiquetas) deriva en la necesidad de líneas de producción flexibles a esos cambios. Con respecto a las velocidades entre las líneas de producción, estas son variables y distintas en su promedio. Esto tiene como consecuencia que sea necesario realizar una asignación adecuada de las órdenes de fabricación en las líneas productivas.

Actualmente, si bien las capacidades instaladas de las líneas de producción permitirían poder cumplir la demanda a la que se ve expuesta la empresa actualmente, la complejidad de los tipos de productos hace que la capacidad real sea mucho menor creándose una restricción en el proceso productivo.

4.3. Características del Proceso Productivo

El proceso productivo se puede dividir en dos etapas principales: el procesamiento de la uva, y la etapa de envasado y etiquetado del vino. En esta investigación, se acotará el problema específicamente la etapa de envasado y etiquetado del vino.

Como se hizo notar anteriormente, la complejidad de las plantas de producción y de las características de los productos se ven reflejadas en los procesos de producción. La gran variedad de productos junto a la poca capacidad de las líneas de producción deriva en la dificultad de programación del número de lotes a producir y también de la determinación de su tamaño. A continuación, se presentarán algunas características que tienen directa relación con los problemas del proceso productivo.

4.3.1. Tiempos de Setup

Los tiempos de setup corresponden a los tiempos invertidos en las líneas de producción antes de comenzar a embotellar el vino solicitado. Si bien, estos tiempos de setup no corresponden a tiempos productivos, son contributorios y necesarios antes de comenzar la producción. Estos tiempos de setup se pueden dividir en dos principalmente.

- Tiempos de Limpieza
- Tiempos de Preparación

Los tiempos de limpieza son los tiempos destinados a preparar la línea cuando se realiza un cambio de tipo de vino. Esta limpieza realizada depende principalmente del tipo de uva de cual provenga el vino, y al mismo tiempo de la calidad. En el caso de la producción de los vinos blancos es necesario realizar una limpieza especial si la producción anterior corresponde a vino tinto. Asimismo, en el caso de la producción de vinos *Premium* o de mayor calidad, también es necesario realizar esta limpieza especial, con el fin de no disminuir la calidad que posee ese vino al haber procesado otro de menor calidad en el anterior proceso. Si el caso fuera contrario, es decir, un cambio de un vino *Premium* a uno masivo, la limpieza no es un factor crítico.

Por otro lado, se pueden encontrar los tiempos de preparación propiamente tal que corresponden a las configuraciones realizadas en la línea para la producción de un producto específico. Los insumos necesarios para la obtención del producto final, tales como corcho, etiqueta, botella y cápsula, son preparados de acuerdo a los requerimientos especiales: cambios de tamaño de botella, diferentes etiquetas, corchos específicos, entre otros deben ser preparados.

Los tiempos de setup no dependen de gran manera de la cantidad de botellas a procesar, por esta razón es necesario aprovechar de producir el máximo posible para disminuir el tiempo de setup promedio por producto. En la práctica, esto resulta difícil debido a la gran variabilidad del tamaño de los lotes de producción. Generalmente, estos tiempos de setup duran alrededor de 20 a 30 minutos de preparación.

4.3.2. Sistema de Producción

El sistema de producción principalmente se basa en un sistema MTO, en donde se los pedidos ingresan al sistema y son analizados y producidos para su correspondiente despacho. Estos despachos en promedio van desde 3 a 5 semanas desde que la orden ingresa hasta que se encuentra disponible al cliente. Lo anterior no quiere decir que no se utilice inventario, ya que en ocasiones es necesario

producir todo el vino disponible de las cubas de fermentación para no disminuir la calidad del vino. La preocupación por la calidad del vino viene dado por que la calidad del vino alcanzada no se puede recuperar, solo se va perdiendo durante todos los procesos a los que es sometido.

Por otro lado, el sistema se ve complicado por este sistema de producción debido a que existen momentos en que el sistema se ve saturado de pedidos y se dificulta la atención y perfecto cumplimiento del pedido.

4.3.3. Lotes de Producción

Los lotes de producción son un factor importante a considerar debido a lo discutido anteriormente con respecto a los tiempos de setup. Los tamaños de los lotes se esperarían que fueran lo máximo posible para aumentar la productividad de la producción. Sin embargo, esta práctica resulta complicada considerando que se trata de un sistema que está produciendo a máxima capacidad, y su sistema de producción es MTO. Debido a esto, los tamaños de los lotes son variables y pocas veces se produce el máximo posible.

4.3.4. Asignación de Órdenes de Fabricación en Líneas

En la política de la empresa existe una política de asignación de órdenes en las líneas. Esta asignación se basa en los tamaños de los lotes y en las velocidades promedio de procesado. La principal preocupación es asignar los lotes de mayor tamaño en las líneas de mayor velocidad, esto se basa en la búsqueda de disminución de los tiempos de setup. En la práctica, es posible notar que debido al estrés que presenta el sistema no resulta factible llevar a cabo correctamente esta política, ya que siempre existen productos esperando ser producidos. La espera de un lote de producción por una línea específica para cumplir la política puede desembocar en dejar líneas disponibles generando tiempo muerto en ellas. Finalmente, no es posible notar una asignación clara con respecto a las líneas productivas derivando en un caos productivo.

4.4. Principales Etapas

Al tratarse de un sistema que produce contra pedido, es necesario enfocarse en las principales etapas y problemas por la que debe pasar un pedido para su correspondiente despacho al cliente. Estas etapas son presentadas a continuación:

4.4.1. Recepción y Análisis de Pedidos

Consiste en la recepción de órdenes de compra o pedidos desde los distintos clientes. De cada orden de compra se puede obtener las distintas órdenes de materiales, las cuales corresponden a las distintas clases de vino solicitadas a la empresa junto a las cantidades por cada tipo de vino. Tareas como el ingreso del pedido al sistema, análisis de la ubicación de los clientes, factibilidad de poder cumplir el pedido dentro del *lead time*, pueden ser consideradas en esta etapa. Por otro lado, cada cliente tiene asociado un *lead time* en el cual el pedido debe ser despachado.

El tiempo promedio de estadía de un pedido en esta etapa alcanza casi las 2 semanas, es un tiempo importante considerando los tiempos de respuesta pactados con el cliente. Algunos de los problemas que se presentan en esta etapa son:

- Códigos de productos no existentes en el sistema, por lo que deben permanecer en espera hasta que los códigos sean cargados al sistema.
- En productos de mayor calidad y precio, existen cantidades máximas que pueden ser vendidas a cada cliente. En la mayoría de los casos, los pedidos deben ser chequeados y en caso de no cumplirse, ver la factibilidad de ser producidos, o solicitar al cliente su cambio.
- Productos no disponibles aún para el despacho, por lo que la orden permanece en espera.
- No factibilidad de cumplimiento de pedido debido a que no existe disponibilidad de envío marítimo dentro del *lead time*. Los pedidos deben

ser devueltos al cliente informando y consultando si el pedido es producido o no a pesar de las complicaciones.

- Solicitudes de *lead times* menores por parte de los clientes. En casos específicos los clientes solicitan tiempos de respuesta menores a los pactados, por lo que el pedido debe ser analizado en detalle para ver la factibilidad de su cumplimiento.
- Disponibilidad de insumos. La no disponibilidad de insumos puede resultar en que un producto específico de la orden no pueda ser producido en el tiempo correspondiente. Al no cumplir con un producto, no se está cumpliendo con el pedido completo.

4.4.2. Programación

En esta etapa se analiza la planificación de los distintos pedidos recibidos distribuyéndolos en los distintos lotes de producción de acuerdo al tipo de producto. Los pedidos que pasan la etapa anterior, y son ingresados al sistema para su producción deben ser programados. Teniendo realizado el análisis de la disponibilidad de insumos, los distintos productos contenidos en el pedido son agregados a otras solicitudes formando órdenes o lotes de fabricación. En muchos casos el horizonte de planificación ya programada corresponde a 2 semanas, en donde están asignados los lotes a las correspondientes líneas con fecha y horario asignado. Sin embargo, existen lotes de producción críticos que deben ser producidos en un tiempo mucho menor teniendo como resultado la correspondiente re-planificación.

El principal problema de esta etapa es la poca flexibilidad de la planificación. Cualquier cambio para ingresar un lote para el cumplimiento del pedido, puede provocar el no cumplimiento de otro pedido al modificar la planificación.

4.4.3. Envasado y Etiquetado

Tal como se analizó en las características del proceso productivo, en esta etapa se procesan todas las órdenes o lotes de fabricación. Cada orden de fabricación contiene un conjunto de órdenes de materiales. Los factores críticos son aquellos que generan los tiempos muertos en el proceso productivo. Entre algunos de estos problemas se encuentran:

- Averías de la línea de producción.
- Falta de insumos para completar el pedido.
- Botellas que se vuelcan y detienen el proceso.
- Acumulaciones de caja al final de la etapa, lo que provoca la detención de la línea.
- Material defectuoso, por ejemplo, etiquetas mal colocadas que deriva en el rechazo del producto y realización de la operación nuevamente.
- Quebrazones de botellas.
- Ajustes de la línea.

Las dificultades señaladas anteriormente tienen como resultado que los tiempos de producción planificados para cada uno de los lotes de producción no se cumplan. El no cumplimiento de la planificación propuesta en la etapa de programación tiene como resultado una planificación a nivel operativo. Estas re-programaciones son realizadas por los mismos operarios provocando el cambio de toda la planificación inicial. Finalmente, se tiene como consecuencia principal que la planificación de lotes en la etapa de programación ya se encuentra obsoleta.

4.5. Metodología

Dadas las características y complejidades del problema propuesto, resulta difícil analizar el impacto de estrategias de mediano plazo en una empresa real. Esta dificultad radica en que no existe la posibilidad de aplicar nuevas estrategias bajo un sistema productivo tan demandado y colapsado. De acuerdo a esto, la simulación discreta surge como una herramienta útil que permite retratar de alguna forma el sistema actual, con la posibilidad de realizar cambios o configuraciones con el fin de cuantificar el impacto final.

Los resultados de un modelo de simulación intentan reflejar el posible comportamiento bajo ciertas circunstancias. El funcionamiento del modelo se encuentra basado en la ocurrencia de eventos junto con la interacción de distintas variables aleatorias.

De acuerdo a las razones mencionadas anteriormente, se construirá un modelo de simulación discreta debido a la facilidad de analizar el funcionamiento de diversas estrategias teniendo como base la modelación del sistema actual de la empresa.

5. MODELO DE SIMULACIÓN

El modelo de simulación implementado fue creado mediante la utilización del programa EXTEND v6.0 desarrollado por la compañía Imagine That, Inc. Por otro lado, la mayor parte de los datos utilizados en su construcción fueron consultados de una empresa real.

5.1. Modelo Conceptual

El primer paso en la construcción del modelo, es la identificación del modelo conceptual del sistema, el cual presenta de una forma simple en que consiste el diseño del modelo computacional. De este modo es posible tener claridad en el diseño del modelo, y poco a poco ir acotándolo o agregando detalles necesarios para el análisis. Como se puede observar en la figura 5-1, el modelo conceptual se puede dividir en 5 etapas principales: la generación de pedidos, análisis de la información, procesamiento de materiales, el análisis de cumplimiento de los pedidos y finalmente, la administración de inventario. El funcionamiento normal de algunas de estas etapas ya fue introducido en el capítulo anterior. Finalmente, las conexiones entre los bloques reflejan el flujo de información que ocurre entre estas etapas.

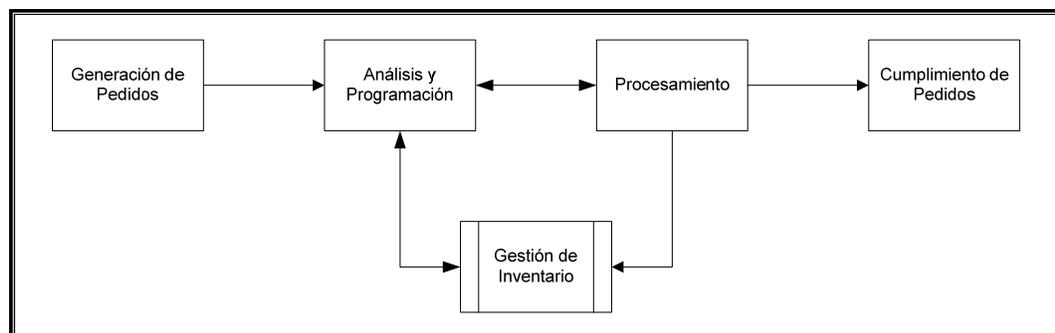


Figura 5-1: Modelo Conceptual

5.2. Generalidades del Modelo

Se consideró la creación de 10 tipos de productos correspondientes a 10 familias de vino. Estos productos creados tienen una demanda y rotación diferente entre ellos. Consecutivamente, existen 3 tipos de clientes con distintos *lead times* asignando un tiempo de respuesta a cada pedido que entre al sistema. La asignación de todas estas características es realizada de acuerdo a probabilidades de ocurrencia (Ver Anexo B: Modelo de Simulación).

Finalmente, en el área de producción, se construyeron 5 líneas de procesamiento de productos con distribuciones de tiempos de setup, velocidades y la consideración de un factor debido a las diferentes fallas técnicas de las líneas de procesado (Ver Anexo B: Modelo de Simulación).

A continuación, se describirán las características principales del modelo como son las entidades del sistema, variables de estado y supuestos realizados en este modelo.

5.3. Entidades del Sistema

Dentro del modelo se crearon 3 entidades principales, cada una de ellas con distintos atributos asignados para su manejo adecuado a través del sistema.

a) Órdenes de Compra o Pedidos

Son los pedidos provenientes de los clientes, los cuales tiene una identificación única y un *lead time* asociado. Corresponden a las principales entidades del sistema, ya que de acuerdo a ellas se calculan los tiempos de los pedidos dentro del sistema y su correspondiente cumplimiento o no cumplimiento del despacho de los productos dentro del *lead time* establecido inicialmente.

b) Órdenes de Materiales

Cada uno de los pedidos recibidos contiene diferentes familias de vino en distintas cantidades, por esta razón a partir de los pedidos se crean estas entidades las cuales conservan la identificación y *lead time* del pedido original, añadiéndole la cantidad

de producto solicitada por el cliente por cada clase de vino. En el Anexo B se puede encontrar los datos con lo que se crean estas diferentes órdenes de materiales.

c) Órdenes de Fabricación

Para el envasado y etiquetado de los productos es necesario crear lotes de fabricación que contienen varias órdenes de materiales. Estas entidades corresponden a solo una familia de vino, y a la vez tienen identificación única dentro del sistema, así como también la cantidad de productos a producir.

El modo en que estas entidades interactúan es el siguiente, los pedidos entran al sistema, son analizados y luego separados en distintas órdenes de materiales. Luego, estas órdenes de materiales se agregan para dar lugar a la orden de fabricación, la que luego de ser producida se desagrega volviendo a las órdenes de materiales ya producidas. Finalmente, las órdenes de materiales se agregan en los pedidos originales para la obtención de los indicadores de desempeño del sistema.

5.4. Variables de Estado

Las variables de estado utilizadas para analizar el funcionamiento del sistema fueron las siguientes:

a) Tiempo de Ciclo

El tiempo promedio de ciclo de todos los clientes que ingresan al sistema, medido por el tiempo desde el ingreso del pedido hasta su salida del sistema.

b) Nivel de Servicio

Corresponde al porcentaje de cumplimiento de todos los pedidos producidos en su totalidad, es decir, que todas sus órdenes de materiales sean producidas. Esto se mide de acuerdo al cumplimiento del *lead time* asignado a cada pedido.

c) Nivel de Inventario

Cada uno de los distintos productos tiene asignado un inventario el cual varía a lo largo del tiempo. Si bien, este índice no se utiliza en el modelo del funcionamiento del sistema actual, es necesario para los distintos experimentos a realizar.

d) *Throughput*

La cantidad de pedidos que salen del sistema, ya sea en cantidad de pedidos o en cantidad de productos producidos, en este caso, cajas de vino.

5.5. Parámetros del Modelo

Los parámetros corresponden a los datos de entrada del modelo, es decir, aquellos que son modificables para analizar el modelo bajo distintas situaciones. Los principales parámetros son los siguientes:

a) Demanda

El parámetro de la demanda se ve representado por la tasa de llegada de los pedidos, la cual es modificable.

b) Tiempos de Setup

Son los tiempos necesarios para la preparación de los lotes de producción, antes de cada orden de fabricación a producir, es necesario realizar un *setup*. Se considera una distribución única en los tiempos de *setup*, sin importar la línea de producción o el tipo de producto que se este preparando.

c) Velocidades de Producción

Corresponde a la velocidad de producción de unidades por hora para cada producto, se supone que no existe diferencia de velocidad de producción entre diferentes productos pero si entre las líneas de producción.

d) Tiempo de Análisis

Corresponde al tiempo en donde el pedido es analizado antes de entrar a la etapa de producción.

e) Lead times de Clientes

Tal como se mencionó anteriormente, se consideran 3 tipos de clientes, cada uno con tiempos de respuesta diferentes. Estos tiempos pueden ser modificados para analizar el efecto que pueden producir en el sistema.

5.6. Resultados

Entre los resultados e información proporcionados por el modelo, se encuentran las medidas de desempeño mencionadas con anterioridad tales como: la cantidad de cajas de vino producidas y demandadas, tiempos de los pedidos dentro del sistema, nivel de cumplimiento de pedidos, niveles de inventarios promedios para cada producto (en el caso de los experimentos), entre otros. Estos datos intentan mostrar de algún modo el comportamiento del sistema bajo cada configuración. A continuación, en la figura 5-2 se presenta una visión general del modelo diseñado en Extend. Para más detalles de procesos internos ver Anexo B: Modelo de Simulación.

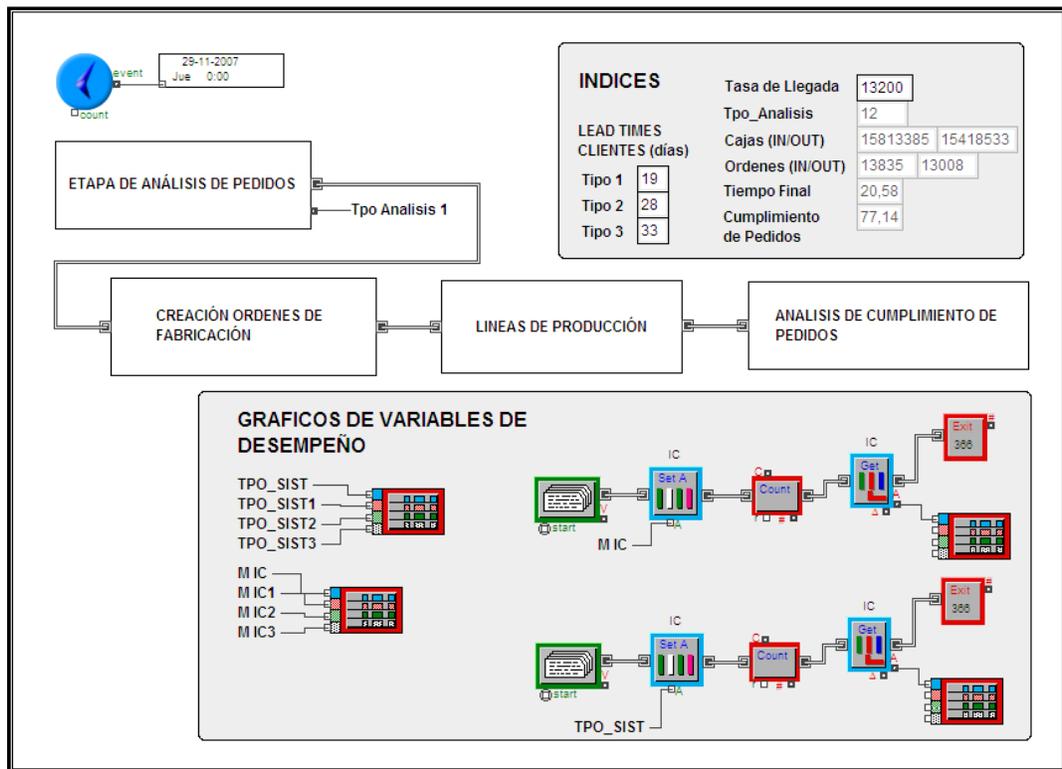


Figura 5-2: Visión General del Modelo

5.7. Supuestos

El modelo al constituir una aproximación a la realidad contiene diferentes supuestos, lo cuales tienen como objetivo principal la simplificación del modelo sin interferir mayormente en su desempeño. A continuación, se describen algunos de los principales supuestos realizados.

- Las materias primas como corchos, botellas, disponibilidad de vino, entre otros, se consideran disponibles en todo momento, es por esto que no se producen problemas al momento de producir un lote específico, o falta de material en las líneas productivas.
- La velocidad de producción de cada línea se ve corregida por un factor que la disminuye debido a la existencia de tiempos muertos en la producción, se

realizó de este modo con el fin de la reducción de la variabilidad al no tener información tan clara acerca de las distribuciones (Ver Anexo B: Modelo de Simulación).

- La asignación de los órdenes de fabricación en las distintas líneas se realiza bajo una regla FIFO, es decir, la primera orden de fabricación arribada y disponible para ser procesada es asignada a cualquiera de las líneas disponibles y así consecuentemente, tal como lo ilustra la figura 5-3.

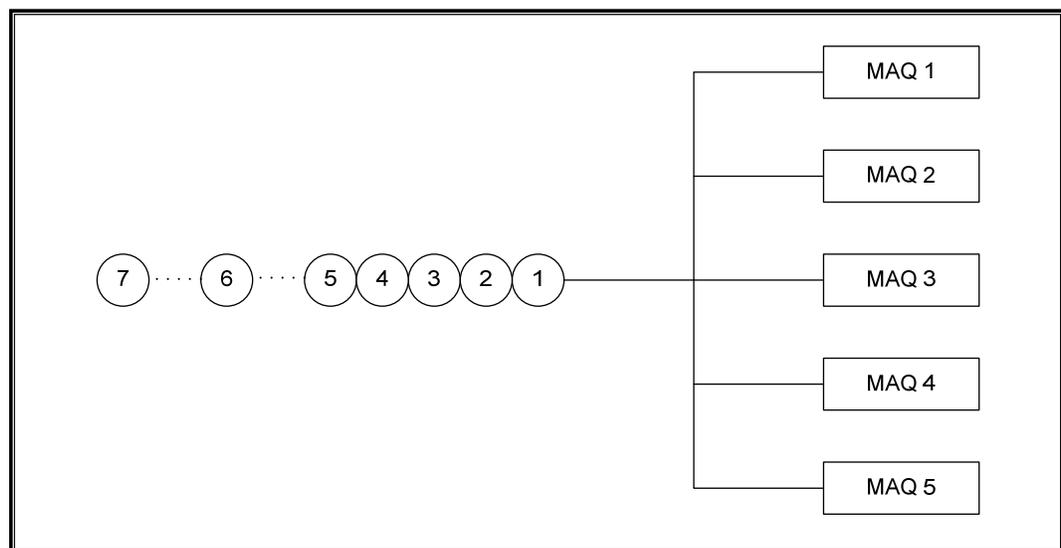


Figura 5-3: Funcionamiento de cola y líneas productivas

- Los tamaños de lotes de producción vienen dados de acuerdo a una distribución aleatoria real, es decir, se analizó los tamaños de los lotes en una empresa. De acuerdo al valor entregado por la distribución se acumulan los órdenes de materiales dando lugar a la orden de fabricación.
- Para cada una de las asignaciones de cantidades de productos en los órdenes de materiales, se designó una distribución para lograr la aleatoriedad en la composición de los pedidos de los clientes.

- Como condición inicial para el modelo de simulación, se seleccionó una demanda acumulada en el sistema en $t = 0$ de pedidos correspondiente aproximadamente entre 2 y 3 semanas de producción. La no consideración de este supuesto lleva a un caso irreal, en donde los pedidos arriban y pueden ser producidos inmediatamente debido a que las líneas de producción se encontrarían disponibles.

5.8. Validación del Modelo

Law y Kelton (1991) proponen ciertas técnicas para lograr una mayor validez y credibilidad del modelo de simulación. Es así como, se utilizó información histórica de empresas vitivinícolas, con el fin de lograr datos relativamente reales y de gran utilidad para la realización de los distintos experimentos. Por otro lado, se tuvo contacto constante con diferentes expertos dentro de las empresas, con el fin de lograr aclaración de dudas, comparación de resultados y para lograr un modelo adecuado y de funcionamiento lógico. Finalmente, tal como señala Law y Kelton (1991), la experiencia e intuición del modelador es otro elemento importante para lograr la construcción de un modelo válido y creíble.

6. ANÁLISIS DEL SISTEMA Y RESULTADOS

En esta sección, se analiza el desempeño actual de una empresa de la industria vitivinícola. A partir de la simulación del sistema, se pretende identificar los distintos problemas y oportunidades de mejoras que se presentan. Más adelante, se realiza la creación de distintos escenarios y aplicación de distintas estrategias con el fin de analizar su posible funcionamiento en un caso real.

Tal como se sostuvo en el capítulo anterior, para el estudio del modelo se utilizan 4 variables principales de estado que tienen como finalidad caracterizar el funcionamiento del modelo en una situación en particular:

- Tiempo de cada pedido dentro del sistema.
- Nivel de servicio alcanzado de acuerdo a una determinada configuración.
- Producción Total.
- Niveles de inventario de cada producto.

El análisis se dividirá en dos secciones principales, la primera corresponde al análisis de la situación actual para luego dar lugar al análisis de escenarios, con el fin de presentar un contraste entre las distintas alternativas.

6.1. Caso de la Situación Actual: Producción MTO

La situación actual corresponde al llamado caso base, el cual representa al sistema en su estado más crítico. Algunas suposiciones no descritas anteriormente se presentarán a continuación.

En primer lugar, el sistema actual corresponde a una producción MTO la cual no considera la existencia de inventario. En los sistemas reales, usualmente no se cuenta con inventario propiamente tal, sino que solo se envía a inventario pequeñas cantidades de producto. Esto sucede en el caso que sea necesario producir todo el vino restante de una cuba después de haber producido la orden de

fabricación. La situación anterior se produce debido al deterioro de la calidad del vino, es decir, el dejar cubas de fermentación semivacías influye finalmente en la calidad y por esa razón muchas veces es necesario producir la cuba en su totalidad, en especial si se trata de vinos de alto valor comercial. Por el anterior motivo, no se considerará inventario por no existir una política clara, y por simplicidad del modelo.

Al considerarse un sistema al límite del colapso, es necesario contar con alguna política con el fin de normalizar su efecto en el desempeño del sistema. Debido a lo anterior, se considerará que mientras el sistema se encuentre totalmente colapsado, por ejemplo, largos tiempos de espera o gran cantidad de productos esperando ser atendidos, se producirá el rechazo de los pedidos entrantes hasta que el sistema se “normalice” dentro de su colapso. Si bien, esta política no resulta ser lógica desde el punto de vista de un funcionamiento real, es necesaria para el control del sistema. Por otro lado, en la realidad se aceptan todos los pedidos entrantes produciéndose prácticas que tampoco se buscan en un sistema real. Un ejemplo de lo anterior, se puede reflejado en acciones como el tener que comprar capacidad de producción en empresas de terceros.

El objetivo principal del estudio del caso base o la situación actual del sistema corresponde a analizar el efecto de las principales variables y el comportamiento obtenido de acuerdo a ellas. En el estudio se realizará en primer lugar un análisis de sensibilidad con respecto a la demanda, es decir, comparar los distintos desempeños ante distintos niveles de demanda.

6.1.1. Sensibilidad a la demanda

Los niveles de demanda seleccionados fueron 3, estos se basaron en niveles de crecimiento normales tomando como base el funcionamiento actual, y considerando que actualmente el crecimiento anual está alcanzando niveles aún mayores que los propuestos. Por otro lado, el nivel inferior fue seleccionado para

ilustrar y comparar el comportamiento de un estado anterior a la demanda actual, y observar como el efecto del descongestionamiento del sistema puede provocar un cambio drástico en sus medidas de desempeño. Los niveles fueron los siguientes:

- Caso 1: Demanda de un 20% menor a la actual.
- Caso 2: Demanda actual.
- Caso 3: Demanda de un 20% mayor a la actual.

Para la simulación de los datos, se realizó la simulación en un periodo de tiempo de un año debido a que la estacionalidad de la industria es anual. Además, se ejecutaron 30 réplicas para cada caso indicado anteriormente. Esto fue determinado según el método propuesto por Ross (1999). (Ver Anexo C: Determinación del Número de Réplicas).

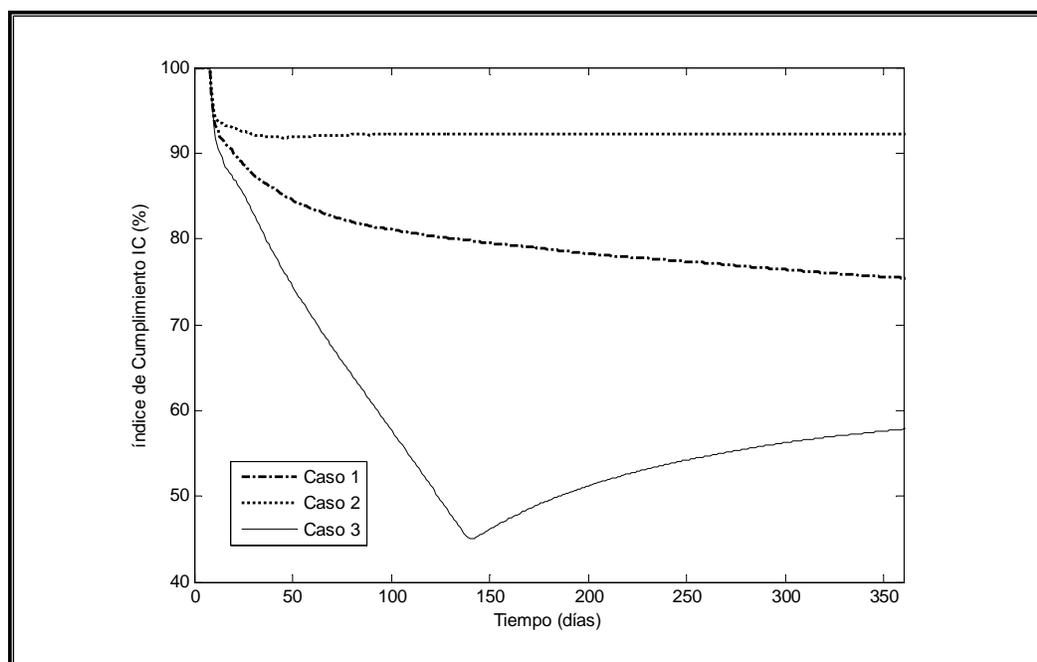


Figura 6-1: Índice de cumplimiento de pedidos versus tiempo

El índice de cumplimiento corresponde al porcentaje de pedidos que fueron atendidos o despachados dentro del *lead time* asignado a ese pedido, es decir, fueron cumplidos correctamente. Como se puede observar en la figura 6-1, el caso 1 presenta un comportamiento constante durante la duración del periodo, con un nivel de cumplimiento de pedidos mayor que los otros casos debido a la menor demanda que presenta el sistema y su correspondiente menor congestión. Según lo anterior, se podría afirmar con un sistema des congestionado el cumplimiento se posiciona sobre el 90%. Opuestamente, en el caso 3 se puede observar la divergencia producida cuando se empieza a colapsar el sistema y el nivel de cumplimiento se desploma. El repunte del índice observado alrededor del día 150 se debe a la política de rechazo de pedidos explicada anteriormente. Lo producido en el caso 3 es lo siguiente, a una mayor demanda se comienzan a crear mayores tiempos de espera en las colas de la etapa de producción, debido a que el sistema no es capaz de producir tal demanda, lo que finalmente aumenta el tiempo del pedido dentro del sistema. Luego, al comenzar a funcionar la política de rechazo de pedidos, el sistema comienza una producción más constante pero siempre rechazando pedidos. Finalmente, en el caso 2 se puede observar la tendencia del caso que llamaremos Caso Base en donde el sistema funciona al límite del colapso debido a la capacidad del sistema.

Lo explicado en el párrafo anterior puede ser visualizado en la figura 6-2, en donde se grafican los tiempos promedios de los pedidos dentro del sistema, los cuales corresponden al momento en que el pedido arriba al sistema hasta que la orden es producida y despachada al cliente. En la figura 6-2 es posible observar el mismo comportamiento del índice de cumplimiento, el comportamiento divergente del caso 3, el bajo tiempo promedio en el sistema del caso 1, y finalmente el caso base de este sistema.

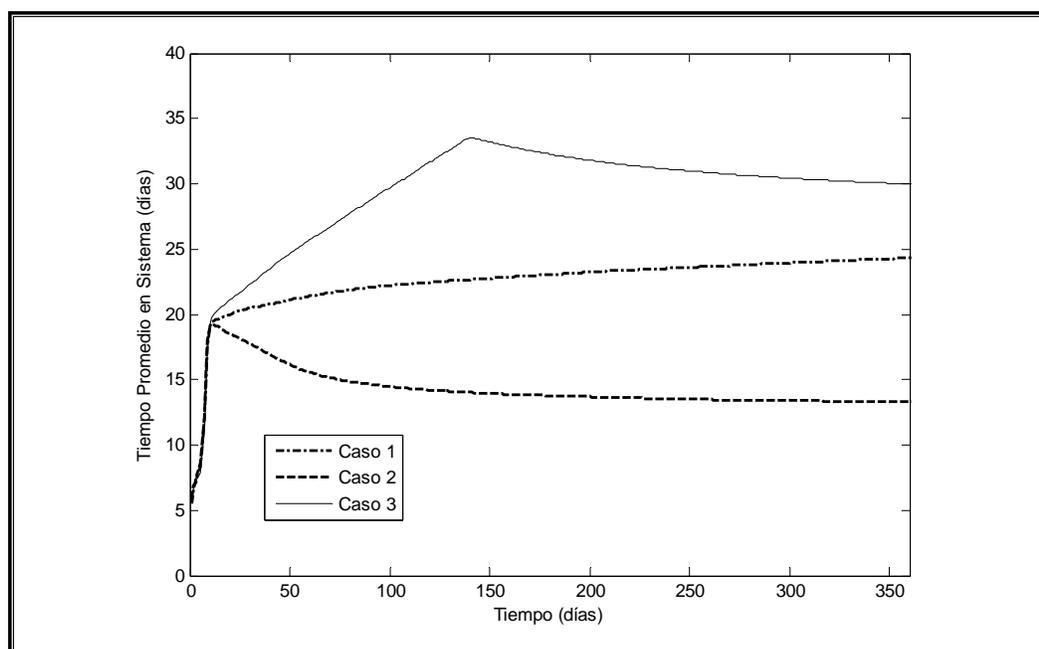


Figura 6-2: Tiempo promedio de pedidos en sistema versus tiempo

Los resultados numéricos obtenidos para este análisis de sensibilidad ante la demanda son presentados en la tabla 6-1. De acuerdo a la tabla presentada, se observa numéricamente el nivel de colapso del caso 3, en donde cerca de un 20% de los pedidos recibidos deben ser rechazados ya que no se cuenta con la suficiente capacidad del sistema. En la realidad lo anterior se vería reflejado en la necesidad de construcción de otra línea de procesamiento, o el arriendo de la capacidad de línea de otra empresa. En el caso 2, se produce el mismo efecto de pedidos rechazados pero en una menor cantidad, cerca de un 1% de los pedidos recibidos, ya que es un caso al límite del colapso. Resulta interesante hacer notar que el límite de la capacidad se observa alrededor de los 12,5 millones de cajas de vino producidas, y que los casos 2 y 3 presentan esa cantidad de productos parecidos lo que reafirma lo planteado anteriormente. Por otro lado, en los 3 casos presentados, el tiempo promedio que permanece el pedido en la etapa de análisis corresponde a

12 días, siendo un valor no despreciable si se tiene en cuenta que el *lead time* más exigente equivale a 22 días.

Tabla 6-1: Resumen de sensibilidad ante la demanda

	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tiempo promedio de Pedido en Análisis (días)	12,05	12,05	12,05
Cajas de Vino Pedidas	10.587.205	12.975.237	13.044.348
Cajas de Vino Producidas	10.577.527	12.534.246	12.547.487
Pedidos Recibidos	17.140	21.387	25.663
Pedidos Despachados	16.557	19.762	19.773
Pedidos Rechazados	0	251	4.216
Tiempo Promedio en el Sistema TS (días)	13,29	24,37	29,92
Índice de Cumplimiento Anual ICA (%)	92,17	75,29	58,05

Tabla 6-2: Comparación de caso 1 y 3 con respecto a caso base

Caso	ICA	TS
1	22,42%	-45,47%
3	-22,90%	22,77%

Finalmente, en la tabla 6-2 se realiza una comparación de los 2 principales índices de los casos 1 y 3 contra el caso base de análisis. Los datos fueron analizados estadísticamente mediante test de hipótesis, resultados que se encuentran en el Anexo G: Análisis Estadísticos.

6.1.2. Cambios en políticas de atención al cliente

El siguiente análisis, corresponde a estudiar la sensibilidad del caso base ante cambios en la configuración tipos de clientes. Este análisis resulta interesante ya que permite dar a conocer los efectos que pueden lograr cambios de la política de atención de clientes sobre los índices de desempeño, es decir, cambiar algunos *lead times* de clientes ya sea relajándolos o minimizarlos aún más.

Por política de clientes se entenderá la asignación de los *lead times* a los clientes. Por ejemplo, en el caso base se encuentra el cliente tipo 1, cuyo *lead time* corresponde a 22 días, luego el tipo 2 con 31 días y finalmente, el tipo 3 con un tiempo de respuesta de 36 días. Las proporciones pueden ser consultada en el Anexo B: Modelo de Simulación.

Los experimentos a realizar serán del siguiente modo, el caso base cuenta con la configuración inicial de clientes “1-2-3”. De esta forma, se realizaron 5 experimentos con distintas configuraciones de clientes, cambiando clientes del tipo 2 al tipo 3, viceversa, entre otros. Las políticas a analizar serán las siguientes:

- Política 1: Clientes 1-1-1
- Política 2: Clientes 1-2-2
- Política 3: Clientes 2-2-2
- Política 4: Clientes 2-3-3
- Política 5: Clientes 3-3-3

Gráficamente, en la figura 6-3 se presentan los resultados de los experimentos realizados. Analizando casos extremos como la política 5, en donde todos los clientes serían atendidos con un *lead time* de 36 días, se logra un claro aumento en el índice de cumplimiento. Por el contrario, intentando cumplir a todos los clientes en un plazo de 22 días logra que el índice decaiga (política 1). Los resultados si bien, de algún modo resultan intuitivos, tienen por objetivo principal medir el impacto que produciría un cambio de política.

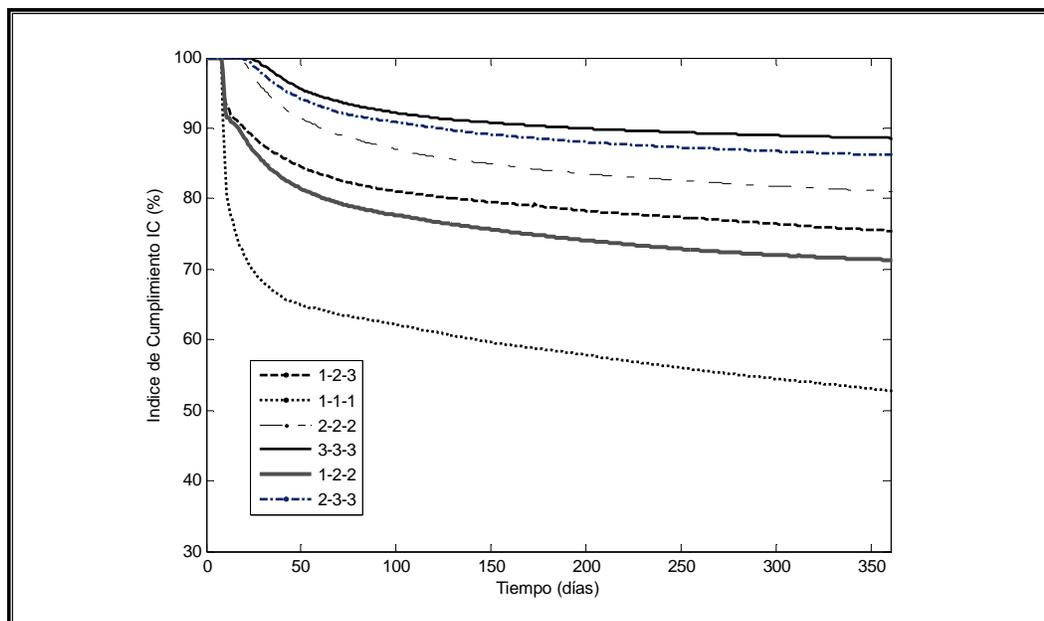


Figura 6-3: Sensibilidad al tipo de cliente

La tabla 6-3 muestra el impacto numérico que tiene el cambio de las políticas de clientes. Mediante este análisis se puede presentar que sin realizar cambio alguno en la etapa productiva se puede lograr efectos en el cumplimiento al cliente. Sin embargo, en la práctica resulta difícil realizar un cambio inmediato hacia los clientes ya que claramente las mejoras provocarían un aumento del tiempo de respuesta ofrecido al cliente, y probablemente los clientes cambien su preferencia y busquen otros proveedores que quizás puedan ofrecerles mejores tiempos de respuesta. Aún así, resulta interesante el análisis ya que en las secciones siguientes será de utilidad. Los análisis estadísticos de los resultados se encuentran en el Anexo G.

Tabla 6-3: Sensibilidad de ICA con respecto a cambio de política

	Configuración de Clientes					
	Política 1	Política 2	Base	Política 3	Política 4	Política 5
ICA (%)	52,51	71,22	75,29	80,88	86,07	88,52
Variación con respecto a caso base	-30,26%	-5,41%	-	7,42%	14,32%	17,57%

A continuación se presentará el diseño de los experimentos realizados al sistema propuesto inicialmente, junto con los análisis y resultados obtenidos.

6.2 Experimentos: Producción Híbrida MTO-MTS

Los experimentos diseñados a continuación presentan una característica diferente al sistema actual de producción, tienen como base el funcionamiento de un sistema híbrido de producción. Lo anterior implica lo siguiente, algunos de los productos demandados serán producidos y administrados contra orden o pedido (sistema MTO), mientras que los restantes estarán bajo una política MTS.

Tal como se presentó en la revisión bibliográfica, existen artículos que tratan este tema. Los 2 principales dilemas al momento de implementar una estrategia de este tipo son:

- Elección de productos MTS y MTO.
- Asignación en la línea productiva de órdenes MTS y MTO.

6.2.1. Elección de Productos

En Soman, Van Donk y Gaalman (2007) se aborda el primer problema indicado anteriormente. Ellos sugieren un análisis de variabilidad de demanda tal como lo propuso D'Alessandro y Baveja (2000), el cual consiste en agrupar los productos en grupos homogéneos de acuerdo a su nivel de demanda y su variabilidad.

En la figura 6-4, se presentan los 10 productos o familias de vino consideradas en el modelo. En el eje x se encuentra la demanda promedio semanal de cada producto, esta es calculada realizando simulaciones para obtener la demanda promedio semanal de cada réplica junto con su desviación estándar. Con la información de todas las réplicas realizadas, se obtiene la demanda promedio semanal final. Luego, en el eje y se encuentra el coeficiente de variación (CoV) de los productos que corresponde al cociente de la desviación estándar y la demanda promedio.

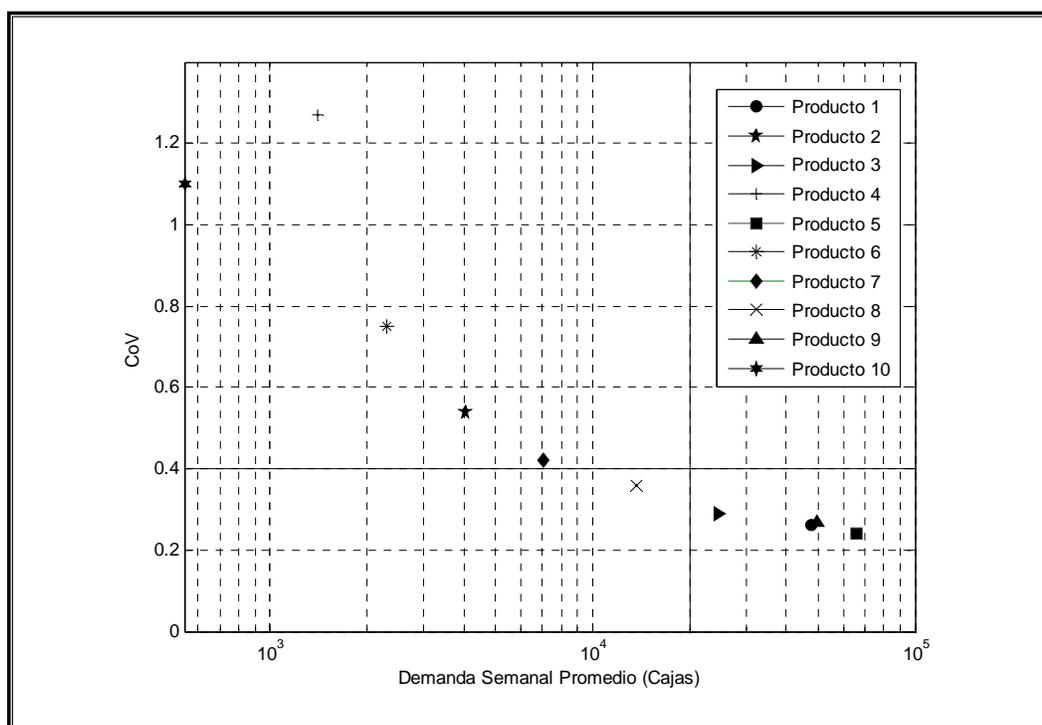


Figura 6-4: Variabilidad de la demanda semanal

La partición del gráfico representa la búsqueda de los productos homogéneos, la principal partición en el eje x , viene dada por la demanda promedio de cada producto. La demanda límite se estableció en 20.000 cajas de vino, ya que corresponde a una cantidad de cajas que está por sobre el lote máximo de producción (aproximadamente 5.000 cajas en promedio) y que separa los

productos de más peso productivo del resto. Por otro lado, el grupo inferior según la partición en el eje y presenta una variabilidad menor. Si bien, en este caso la variabilidad no es la principal distinción entre ambos grupos, la partición según la demanda (eje x) si lo es.

Según el gráfico, los productos 1, 3, 5 y 9 son los candidatos a ser administrados bajo una política MTS ya que son productos de alta rotación (bajo CoV) y de gran demanda promedio. Por el contrario, el resto de los productos representan una menor rotación y un volumen de venta mucho menor. El volumen de venta promedio de cada uno de los productos se encuentra en el Anexo D.

Si se realiza un análisis del porcentaje total de venta de los productos MTS, este valor alcanza casi un 90%. Es decir, si se producen las 4 familias de vino bajo esta alternativa, el 90% de toda la producción estará administrándose mediante inventario. Si bien, esta opción es posible podría demandar un alto inventario promedio derivando en mayores costos y mayor dificultad al manejar casi toda la producción bajo una política MTS.

Tomando en consideración la postura anterior, es necesario buscar otra alternativa para buscar una estrategia algo más híbrida y no puramente MTS, y de esta forma contrastar ambas alternativas. Es por esto, que será considerado lo que pasaría si se seleccionan 2 productos MTS, en este caso los productos 5 y 9, los cuales tienen las mayores demandas. Esta alternativa dejaría cerca de un 54% de la producción bajo una estrategia MTS, mientras que el resto sería MTO.

6.2.2. Sistema de Atención de Órdenes

Al comienzo de la sección, se presentaron los dos principales problemas en la utilización de una estrategia híbrida, quedando resuelta ya la primera problemática. La siguiente pregunta tiene relación con la asignación de las órdenes de fabricación en las líneas productivas. Bajo esta configuración productiva, existirán órdenes de fabricación las cuales serán para abastecer el nivel de inventario de los

productos MTS, y otras las cuales directamente abastecerán una demanda solicitada (MTO).

En el experimento 1, se cuenta con un 90% de la producción bajo un punto de vista MTS, por lo que no se considerará prioridad dentro al momento de ser producidos o atendidos en la etapa de producción. Este supuesto se encuentra fundamentado en que el volumen de productos MTO es muy bajo, y los pedidos al ser mayormente compuestos por productos MTS (mayor demanda) no verían efecto alguno si tienen una rápida atención solo en algunos de sus productos. Por otro lado, los productos MTS al ver interrumpida su producción por la mayor prioridad del resto podrían resultar en mayores tiempos de espera en cola, derivando en mayores inventarios.

Consecuentemente, el experimento 2 tampoco considerará prioridad de atención ya que su inclusión podría traer como consecuencia mayores tiempos de espera de los productos MTS y mayores inventarios. Esta consideración esta basada en que la producción se encuentra dividida casi idénticamente entre las 2 estrategias, y la prioridad produciría que constantemente la producción MTS se vea interrumpida.

De acuerdo a lo anterior, ambos experimentos no considerarán prioridad al momento de atender las órdenes de fabricación, por lo que productos MTS y MTO serán producidos bajo una política FIFO.

6.2.3. Nivel de Inventarios

Al manejar productos MTS, es necesario determinar los niveles de inventario requeridos para cada uno de los productos. En este caso, una política (S,s) fue seleccionada para el manejo de estos productos. Esta estrategia consiste en que cada vez que el inventario de determinado producto caiga bajo un nivel s , una orden con una cantidad a producir S será liberada al sistema para reponer y alcanzar el nivel de inventario determinado.

Para la determinación de S y s es necesario determinar el nivel de servicio deseado y el tiempo de respuesta de la orden, es decir, cuanto tiempo demora entre la liberación de la orden de reposición y la llegada de los productos a inventario. En estos experimentos se seleccionó un nivel de servicio del 95%, y en el caso de los tiempos de respuesta, se realizó pre-simulaciones para su determinación adecuada. Los stocks, niveles de liberación de órdenes y otros, se encuentran en el Anexo E: Determinación de la Política de Inventario.

Finalmente, los experimentos a realizar serán los siguientes:

- Experimento 1: Producción Híbrida con 4 productos MTS.
- Experimento 2: Producción Híbrida con 2 productos MTS.
- Experimento 3: Experimento 1 con cambios en políticas de clientes.
- Experimento 4: Experimento 2 con cambios en políticas de clientes.

6.2.4. Resultados

Los resultados obtenidos se contrastarán con el caso base o situación actual del sistema. Además, se utilizará la nomenclatura MTS-4 para el experimento 1, y MTS-2 para el experimento 2.

De acuerdo a los resultados de los análisis estadísticos de la tabla 6-4, todos los resultados presentados tienen diferencias significativas en sus promedios. El índice de cumplimiento anual ICA de las estrategias híbridas supera de forma clara y contundente al caso base, en el caso de MTS-4 el índice alcanza un 23% de mejora, mientras que MTS-2 llega a un 17%. El tiempo promedio que pasaron los pedidos dentro del sistema son un reflejo de lo propuesto anteriormente, de un promedio de 24 días del caso base se puede llegar a un promedio de 13 días bajo la estrategia MTS-4. En las secciones anteriores, se hizo notar que el tiempo

promedio que un pedido pasa en la etapa de análisis es de 12 días, lo que implica que bajo la estrategia MTS-4, el pedido pasa mucho más tiempo en análisis que en la etapa productiva.

Tabla 6-4: Resumen de resultados de caso base y experimentos 1 y 2

Índice	Estrategia	Promedio
ICA (%)	BASE	75,4
	MTS-2	88,4
	MTS-4	92,1
TS (días)	BASE	24,4
	MTS-2	16,7
	MTS-4	13,4
Cajas Pedidas	BASE	12.995.265
	MTS-2	13.060.417
	MTS-4	13.048.519
Cajas Producidas	BASE	12.547.195
	MTS-2	13.058.945
	MTS-4	13.109.017
Pedidos Recibidos	BASE	21.392
	MTS-2	21.395
	MTS-4	21.371
Pedidos Producidos	BASE	19.798
	MTS-2	20.565
	MTS-4	20.649
Pedidos Rechazados	BASE	208
	MTS-2	0
	MTS-4	0
Inventario Promedio (cajas)	BASE	0
	MTS-2	118.888
	MTS-4	148.691

En el caso de las cajas pedidas, el análisis estadístico determina que existe cierta diferencia entre los 3 casos, sin embargo, el análisis se encuentra al límite y en cuanto a cifras se puede observar que las cajas en cada estrategia no difieren mayormente. Por otro lado, en las cajas producidas por el sistema se encuentran

diferencias, de los 12,5 millones de cajas que habíamos señalado anteriormente como la capacidad límite del sistema, se llegó a 13,1 en la estrategia MTS-4 lo que implica un aumento. Esto puede ser explicado por el mayor “orden” obtenido al producir con inventario, produciendo órdenes de fabricación siempre a su máxima capacidad disminuyendo los tiempos de setup. En cuanto a los pedidos producidos, también se puede observar el efecto anterior.

Otro punto importante, corresponde al hecho de que mediante las estrategias híbridas no se produjo rechazo de pedidos, cada uno de los pedidos arribados al sistema fue producido sin dejar al cliente sin sus productos. Si bien, en el caso base el porcentaje de pedidos rechazados con respecto a los recibidos es bajo, es un índice importante a considerar.

Finalmente, un índice importante de las estrategias propuestas se relaciona con la cantidad de inventario promedio necesario para lograr el funcionamiento correcto de las estrategias. El caso base al corresponder a una producción MTO, no utiliza inventario. Al comparar MTS-2 y MTS-4, se puede notar que el inventario de la última estrategia es levemente superior, cerca de un 25%, considerando que maneja 4 productos con inventario.

En la tabla 6-5, se presentan los experimentos correspondientes al análisis de sensibilidad del cambio de la política de atención a los clientes. Mediante estos cambios de configuraciones, se pueden lograr índices de cumplimiento aún superiores, llegando hasta un 96% en el caso de la estrategia MTS-4 bajo una política 5. Este índice resulta ser superior incluso al caso analizado al comienzo de este capítulo, en donde el sistema se encuentra descongestionado. Por otro lado, la estrategia MTS-2 presenta variaciones aún mayores con respecto a su política base.

Tabla 6-5: Sensibilidad de experimentos ante cambios de tipo de clientes

Índice	Configuración de Clientes	MTS-2	MTS-4
ICA (%)	Política 1	76,8	85,1
	Política 2	85,0	90,7
	Política 3	90,9	93,9
	Política 4	93,2	95,4
	Política 5	94,2	96,1
	Política Base	88,4	92,1
Variación con respecto a caso base	Política 1	-13,1%	-7,6%
	Política 2	-3,8%	-1,5%
	Política 3	2,8%	1,9%
	Política 4	5,4%	3,5%
	Política 5	6,6%	4,3%

Finalmente, en la figura 6-5 se presentan las comparaciones gráficas de los resultados finales de las 3 estrategias implementadas en el modelo de simulación. Mediante las estrategias híbridas se pudo lograr mejores índices de desempeño del sistema, logrando mejores índices de cumplimientos, y menores tiempos promedios de pedidos en el sistema. Sin embargo, es posible notar que el impacto producido por la estrategia MTS-2 es mucho mayor en relación al caso base, que el impacto producido por la estrategia MTS-4. Si se analiza que pasaría en el caso que se agregaran más productos en el sistema, por ejemplo 8 productos, el impacto producido sería aún menor. Lo anterior se debe a que el peso que tienen los productos restantes dentro de la orden es mucho menor que los productos elegidos inicialmente a ser producidos con inventario. Además, si se observa que ya con 4 productos a stock se alcanza un nivel de cumplimiento del 92%, y un tiempo promedio de 13 días, es muy poco probable lograr una mejora de esos índices. Como conclusión de esta comparación, se podría afirmar que mientras más productos sean producidos bajo una estrategia MTS, menor es el impacto

producido en los índices de desempeño, pudiendo observar un comportamiento decreciente en ellos.

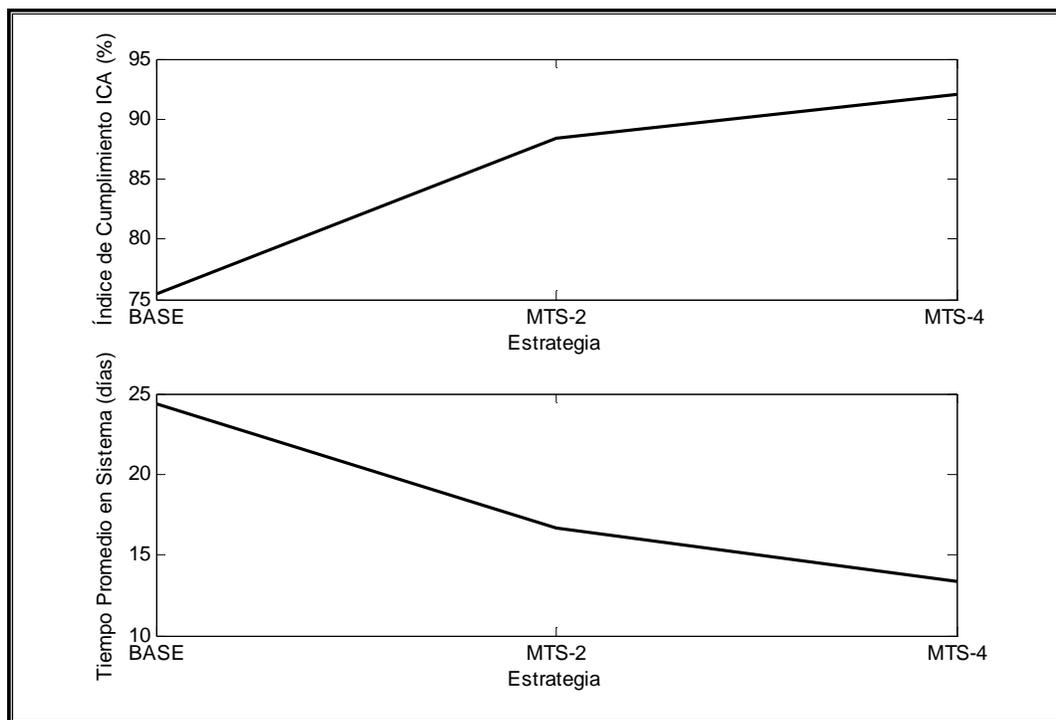


Figura 6-5: Comparación de estrategias

6.3 Implementación

Los resultados presentados, demuestran que existe evidencia para afirmar que una estrategia híbrida puede ofrecer resultados favorables en relación al porcentaje de cumplimiento de pedidos de clientes, y en su tiempo de permanencia en el sistema.

En la presente investigación se presentó un modelo el cual consideraba 10 productos o familias de vino agregando los diferentes vinos producidos. En la realidad, existen una gran cantidad de productos los cuales deben ser considerados al momento de implementar estrategias como las presentadas.

La etapa siguiente corresponde a diseñar una heurística que permita implementar las configuraciones propuestas en una empresa real. Como se explicó en el capítulo 4, existen múltiples complejidades en el proceso productivo y de los productos de una empresa vitivinícola, tales como: líneas productivas, variedad de marcas, de cepas de uva, etiquetas, diferentes envases, entre otros. De acuerdo a esto, se debe realizar una heurística que permita administrar y planificar la producción en un corto plazo, buscando optimizar la producción en base a restricciones como la capacidad instalada y la variedad de productos producidos.

En resumen, la presente tesis presenta los resultados que se pueden lograr en un mediano plazo bajo estas estrategias híbridas. A continuación, es necesario estudiar la forma óptima de aplicar estos cambios bajo el diseño de una heurística de corto plazo que permita considerar todas las características y complejidades del proceso productivo de este tipo de industria.

7. CONCLUSIONES

El objetivo principal de esta investigación, estaba basado en cuantificar el impacto producido por estrategias de mediano plazo sobre los tiempos de respuesta de una empresa vitivinícola hacia los clientes. Específicamente, se buscaba medir el impacto directo sobre los niveles de cumplimiento de pedidos. Para alcanzar los objetivos, se construyó un modelo de simulación de eventos discretos para simular el funcionamiento de una planta embotelladora de vinos.

Durante el análisis, se plantearon diferentes experimentos que consistían principalmente en el cambio de estrategia de producción cambiando de un sistema de producción MTO o producción contra orden, hacia una estrategia híbrida con el cambio de algunos de los productos hacia una estrategia MTS o contra inventario. Los resultados obtenidos muestran un aumento de los niveles de cumplimiento de pedidos o *fill rate*, los cuales van ligados principalmente a la disminución obtenida en los tiempos de los pedidos dentro del sistema. Esta disminución de tiempos se explica principalmente debido a una producción anticipada de la demanda, es decir, al producir los productos para contar un inventario ayuda a una disminución del tiempo promedio del pedido en el sistema.

En primer lugar, 2 configuraciones MTS fueron seleccionadas para su análisis, como resultado se obtuvo que mientras más porcentaje de la producción se encuentre bajo una mirada MTS, se pueden obtener mejores índices de cumplimiento y menores tiempos de espera. Sin embargo, entre una estrategia mayormente MTS (cerca del 90% de la producción total) y otra constituida casi simétricamente entre MTO y MTS, no es una diferencia tan significativa como lo puede ser pasar de una estrategia MTO a la indicada anteriormente. Principalmente, lo anterior se encuentra fundamentado en que los productos con una mayor demanda son los principales candidatos a ser producidos a stock, y cada producto que se va agregando va teniendo un menor impacto en el desempeño final. Finalmente, se podría afirmar que los aumentos de los índices de

cumplimiento, y disminuciones de los tiempos en el sistema, son decrecientes mientras más productos a stock se vayan agregando para este caso.

Por otro lado, se logró cuantificar que el impacto producido por cambios en los *lead times* de los clientes, los cuales en muchos casos se encuentran previamente acordados en la industria vitivinícola, pueden producir aumentos de los niveles de cumplimiento. Si bien, lo anterior es algo intuitivo, la importancia de la investigación radica en la cuantificación de estos cambios. El cambio de los tiempos de respuestas, puede resultar complejo en la realidad ya que en la actualidad la competencia de las empresas se centra cada vez más en este punto. Si de alguna forma, se pudiera traducir este aumento en el cumplimiento hacia el cliente, y exponer que mediante esta estrategia se puede lograr una mayor confiabilidad para la entrega de sus productos, resulta de gran apoyo los resultados obtenidos. Más aún, una estrategia MTS junto al cambio propuesto anteriormente, puede lograr cambios mucho mayores, e incluso se pueden lograr desempeños aún mayores que los actuales garantizando tiempos de respuesta mucho menores.

La utilidad principal de esta investigación, radica en la presentación del impacto producido por la aplicación de estrategias productivas de mediano plazo. En muchos casos, los tomadores de decisiones en empresas de esta industria deben buscar alternativas para mejorar el servicio ofrecido, sin embargo es complejo evaluar decisiones de mediano plazo de este tipo. Mediante esta investigación, un tomador de decisión cuenta con la cuantificación de las potenciales mejoras que podría obtener el servicio, pudiendo elegir la configuración que le entregue los resultados deseados en su empresa para luego entrar en un estudio más profundo de la alternativa.

Las investigaciones futuras correspondientes a este tema deberían estar enfocadas en lo siguiente. En primer lugar, se propone el diseño de una heurística de corto plazo para la implementación y cambio de un sistema MTO hacia uno híbrido MTO/MTS, considerando las características y complejidades de esta industria. En segundo lugar, es necesario realizar un estudio de corto plazo para analizar el efecto producidos por los

diferentes tipos de vinos dentro de una familia de productos, considerando inventario semi-terminado. Para finalizar, se propone el análisis del efecto sobre el desempeño hacia el cliente producido por la cantidad de materiales dentro de un pedido.

BIBLIOGRAFIA

Arcos, D. (2004) Simulación de los Procesos de Envasado y Etiquetado en una Planta Embotelladora de Vino. Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Arreola-Risa, A. y DeCroix, G (1998). Make-to-Order versus Make-to-Stock in a Production – Inventory System with General Production Times. *IIE Transactions*, 30 (8), 705-713.

Auger, A. (2002) Simulación del Proceso de Recepción de Uva en una Bodega de Vinificación. Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Bohle, C. (2007) Planificación Robusta: Aplicación al Proceso de Cosecha de Uva para la Industria Vitivinícola. Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Byrne, P.J. y Heavey, C. (2006). The Impact of Information Sharing and Forecasting in Capacitated Industrial Supply Chains: A Case Study. *International Journal of Production Economics*, 103 (2006), 420-437.

Calderón, J.L. y Lario, F. (2007). Simulación de Cadenas de Suministro: Nuevas Aplicaciones y Áreas de Desarrollo. *Revista Información Tecnológica*, 18 (1), 137-146.

Chang, S-H., Pai, P-F., Yuan, K-J., Wang, B-C. y Li, R-K. (2001). Heuristic PAC Model For Hybrid MTO and MTS Production Environment. *International Journal of Production Economics*, 85 (2003), 347-358.

D'Alessandro, A.J. y Baveja, A. (2000) Divide and Conquer: Rohm and Haas' Response to a Changing Specialty Chemicals. *Interfaces*, 30 (6), 1-16.

De Treville, S., Shapiro, R. y Hameri, A-P. (2004). From Supply Chain to Demand Chain: The Role of Lead Time Reduction in Improving Demand Chain Performance. *Journal of Operations Management*, 21 (2004), 613-627.

Federgruen y Katalan (1999). The Impact of Adding a Make-to-Order Item to a Make-to-Stock Production System. *Management Science*. 45 (7), 980-994.

- Ferrer, J-C., Mac Cawley, A., Maturana, S., Toloza, S. y Vera, J. (2008). An Optimization Approach for Scheduling Wine Grape Harvest Operations. *International Journal of Production Economics*, 112 (2008), 985-999.
- Ganeshan, R., Boone, T., & Stenger, A. (2001). The Impact of Inventory and Flow Planning Parameters on Supply Chain Performance: An Exploratory Study. *International Journal of Production Economics*, 71 (2001), 111-118.
- Kerkkänen, A. (2007). Determining Semi-Finishing Products to be Stocked When Changing the MTS-MTO Policy: Case of a Steel Mill. *International Journal of Production Economics*, 108 (2007), 111-118.
- Huiskonen, J. Niemi, P. y Pirttilä, T. (2003). An Approach to Link Customer Characteristics to Inventory Decision Making. *International Journal Production Economics*. 81-82 (2003), 255-264.
- Law, A. y Kelton, D. (1991) Simulation Modeling and Análisis. Nueva Cork, McGraw Hill, 2ª edición, 1991.
- Mac Cawley, A. (2002) Sistema de Apoyo a la Planificación de Cosecha en Vinos. Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Maturana, S. y Arancibia, R. (2004). Prácticas Colaborativas en la Gestión de la Cadena de Suministro. *Working Paper*.
- Masuchun, W., Davis, S. y Patterson, J.W. (2004). Comparison of Push and Pull Control Strategies for Supply Network Management in a Make-to-Stock Environment. *International Journal of Production Research*, 42 (20), 4401-4419.
- Olhager, J. y Persson, F. (2006). Simulating Production and Inventory Control Systems: A Learning Approach to Operational Excellence. *Production Planning and Control*, 17 (2), 113-127.
- Potter, A., Yang, B., & Lalwani, C. (2007). A Simulation Study of Despatch Bay Performance in the Steel Processing Industry. *European Journal of Operational Research*, 179 (2007), 567-578.
- Rajagopalan, S. (2002). Make to Order or Make to Stock: Model and Application. *Management Science*. 48 (2), 241-256.
- Ross, S. (1999) Simulación. México, Prentice-Hall, 2ª edición, 1999.

Santibañez, D. (2006) Aplicación de la Simulación en la Modelación y Rediseño de la Cadena de Suministro del Sector Público de Salud en Chile. Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería Industrial y de Sistemas, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. y Simchi-Levi, E. (2000) Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies. London, McGraw-Hill, 1ª edición, 2000.

Soman, C., Van Donk, D.P. y Gaalman, G. (2004). Combined Make-to-Order and Make-to-Stock in a Food Production System. *International Journal of Production Economics*, 90 (2004), 223-235.

Soman, C., Van Donk, D.P. y Gaalman, G. (2007). Capacitated Planning and Scheduling for Combined Make-to-Order and Make-to-Stock Production in the Food Industry: An Illustrative Case Study. *International Journal Production Economics*. 108 (2007), 191-199.

Van Donk, D.P. (2001). Make to Stock or Make to Order: The Decoupling Point in the Food Processing Industries. *International Journal of Production Economics*, 69 (2001), 297-306.

Williams, T. M. (1984). Special Products and Uncertainty in Production/Inventory Systems. *European Journal of Operational Research*, 15 (1984), 46-54.

Wu, M-C., Jiang, J-H. y Chang, W-J. (2007). Scheduling a Hybrid MTO/MTS Semiconductor Fab with Machine-Dedication Features. *Working Paper*.

Yücesan, E. y De Groote, X. (2000). Lead Times, Order Release Mechanisms, and Customer Service. *European Journal of Operational Research*, 120 (2000), 118-130.

Zhang, T. y Efstathiou, J. (2006). The Complexity of Mass Customization Systems Under Different Inventory Strategies. *International Journal of Computed Integrated Manufacturing*, 19 (5), 423-433.

ANEXOS

ANEXO A: ESTRATEGIAS PRODUCTIVAS

Existen variadas estrategias productivas utilizadas comúnmente, entre las que destacan las siguientes:

- **Make-to-Order (MTO)**

Corresponde a la estrategia en donde los productos son producidos contra orden, es decir, solo cuando la orden es recibida desde el cliente, y solo ahí se libera la orden de producción al sistema.

- **Make-to-Stock (MTS)**

Bajo esta estrategia, los productos se producen contra stock. Para cada producto se manejan inventarios, por lo que cada vez que sea necesario reponer el producto para que el producto alcance un nivel de inventario deseado, se genera una orden de fabricación.

- **Assembly-to-Order (ATO)**

El ensamblaje contra orden, o ATO, se conoce a la estrategia en donde los productos son producidos hasta una etapa intermedia, en donde al momento en que llegan los pedidos de los clientes, son terminados y despachados.

- **Design-to-Order (DTO)**

Esta estrategia corresponde al diseño contra orden, en donde se recibe el pedido desde el cliente. Este producto es diseñado y producido de acuerdo a las especificaciones solicitadas por el cliente.

ANEXO B: MODELO DE SIMULACIÓN

B.1. Distribuciones utilizadas

Las distintas distribuciones utilizadas se presentan a continuación:

- Tiempo entre llegada de pedidos de clientes (años): $\text{Exp}(1/20000)$
- Cantidad de ordenes de materiales por cada pedido (unid.): $\text{Exp}(1,9)$
- Cantidad de producto por cada orden de material según clase de vino(litros):

Tabla B-1: Cantidad de materiales por pedido según clase de vino

Clase de Vino	Distribución
1	Weibull(2029 ; 0,7)
2	Weibull(2910 ; 0,8)
3	Weibull(1640 ; 0,7)
4	Weibull(2251 ; 0,7)
5	Weibull(2204 ; 0,7)
6	Weibull(6026 ; 0,8)
7	PearsonVI(26981 ; 0,62 ; 6,68)
8	Weibull(3276; 0,7)
9	Weibull(2380; 0,7)
10	Exp(3492)

- Tamaño de lotes de producción según clase de vino (cajas):

Tabla B-2: Tamaños de lotes de producción según clase de vino

Clase de Vino	Distribución
1	Beta(0,80 ; 7,20)
2	Beta(0,50 ; 0,99)
3	Beta(0,94 ; 8,40)
4	Beta(0,93 ; 3,04)
5	Beta(0,81 ; 7,73)
6	Triangular(15 ; 300 ; 50)
7	Beta(0,66 ; 1,3)
8	Triangular(15 ; 300 ; 50)
9	Beta(0,88 ; 8,70)
10	Uniforme(100 ; 1000)

- Tiempos de Setup según línea de producción (horas):

Tabla B-3: Tiempos de setup según línea de producción

Línea	Tiempo de Setup
1	Triangular(0,08 ; 1 ; 0,5)
2	Triangular(0,08 ; 1 ; 0,32)
3	Triangular(0,08 ; 1 ; 0,32)
4	Triangular(0,08 ; 0,5 ; 0,32)
5	Triangular(0,08 ; 0,5 ; 0,32)

- Velocidades de Producción según línea de producción (botellas/horas):

Tabla B-4: Velocidades según línea de producción

Línea	Velocidad
1	Lognormal (8400 ; 1680)
2	Lognormal (6160 ; 1232)
3	Lognormal (5250 ; 1050)
4	Lognormal (4200 ; 840)
5	Lognormal (2450 ; 490)

- Factor de Corrección de Velocidad:

A partir del promedio de los porcentajes de los tiempos muertos y tiempos productivos de las líneas se calculó un factor para corregir la velocidad anterior, que pasaremos a llamar velocidad nominal. El factor corresponde a la siguiente fórmula:

$$F.C. = \frac{TP}{TP + TM}$$

, siendo TP = Tiempo Productivo y TM = Tiempo Muerto.

Considerando un porcentaje de tiempo muerto del 35% y un tiempo productivo del 40% se obtiene un Factor de Corrección de velocidad del 0,53.

B.2. Probabilidades de ocurrencia utilizadas

Las distintas probabilidades de ocurrencia utilizadas se presentan a continuación:

- Lead times de clientes:

Tabla B-5: Tabla de probabilidades de tipo de cliente

Tipo de Cliente	Probabilidad
19 días	32,16%
28 días	18,87%
33 días	48,97%

- Clases de Vino:

Tabla B-6: Tabla de probabilidades de clase de vino

Clase de Vino	Probabilidad
1	24,34%
2	1,40%
3	11,47%
4	0,83%
5	30,89%
6	0,47%
7	3,03%
8	4,56%
9	22,82%
10	0,19%

B.3. Modelo de simulación en Extend

A continuación, se presentan los principales componentes del modelo de simulación.

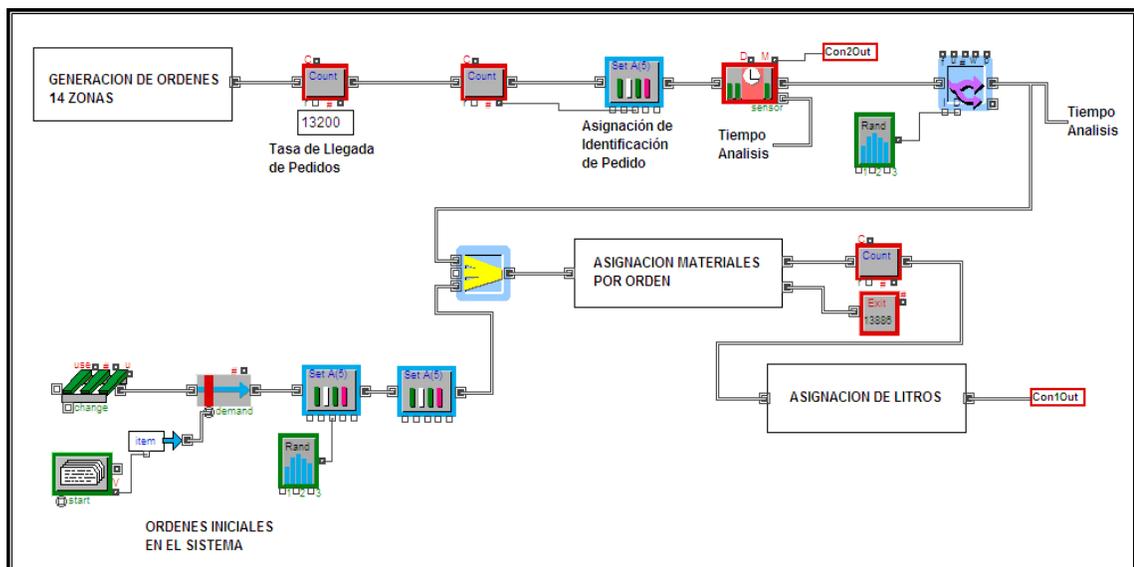


Figura B-1: Etapa de análisis de pedido de clientes

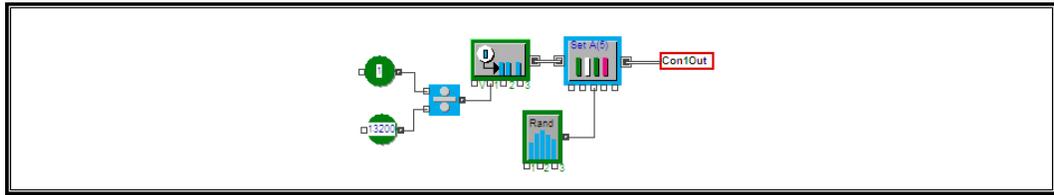


Figura B-2: Bloque de generación de pedido

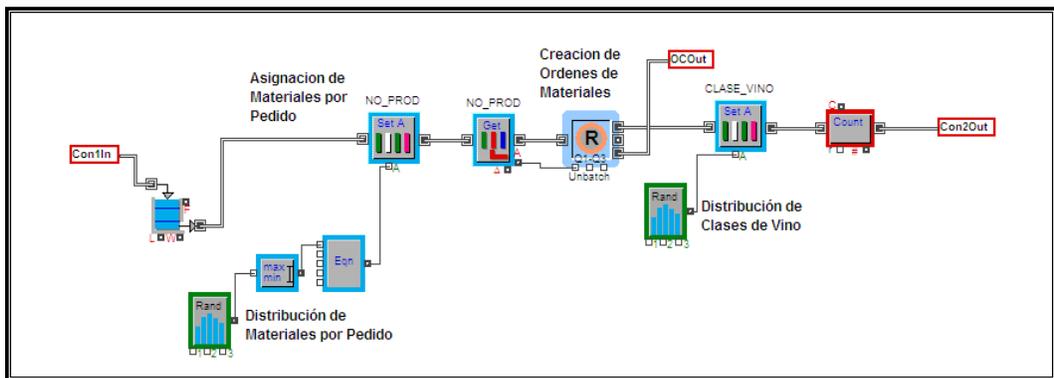


Figura B-3: Bloque de asignación de cantidad de materiales por pedido

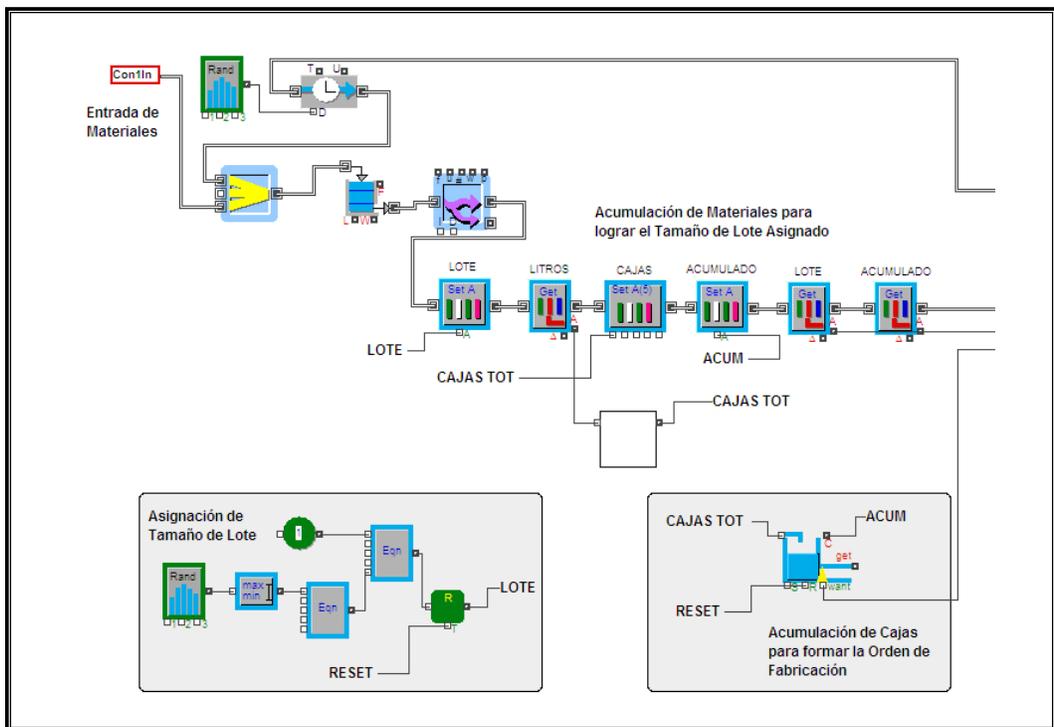


Figura B-4: Etapa 1 de formación de lotes para producto “i”

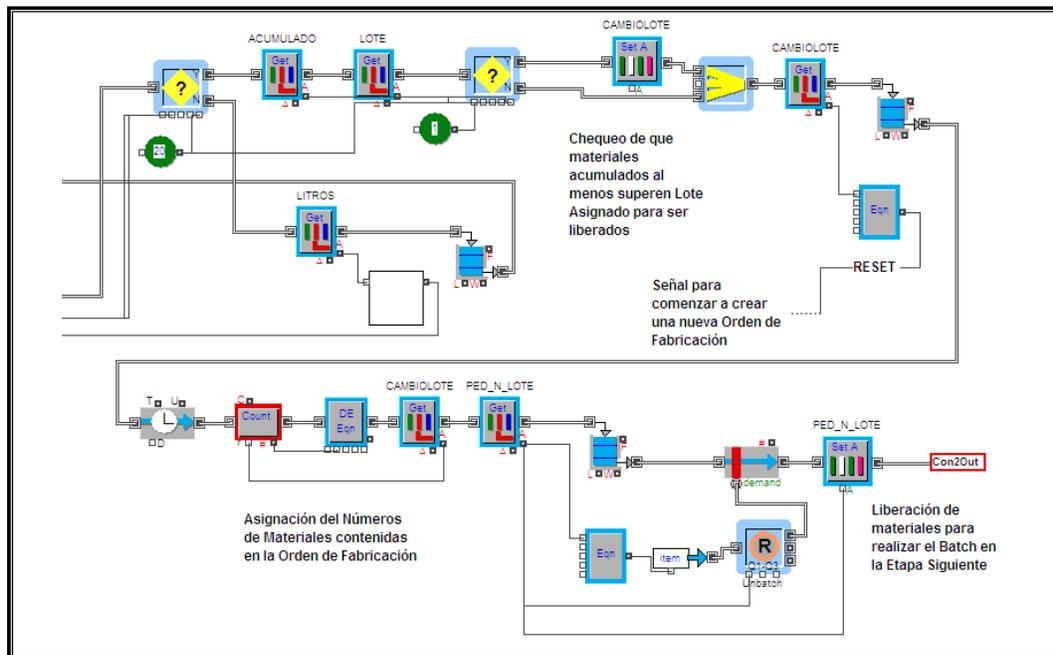


Figura B-5: Etapa 2 de formación de lotes para producto “i”

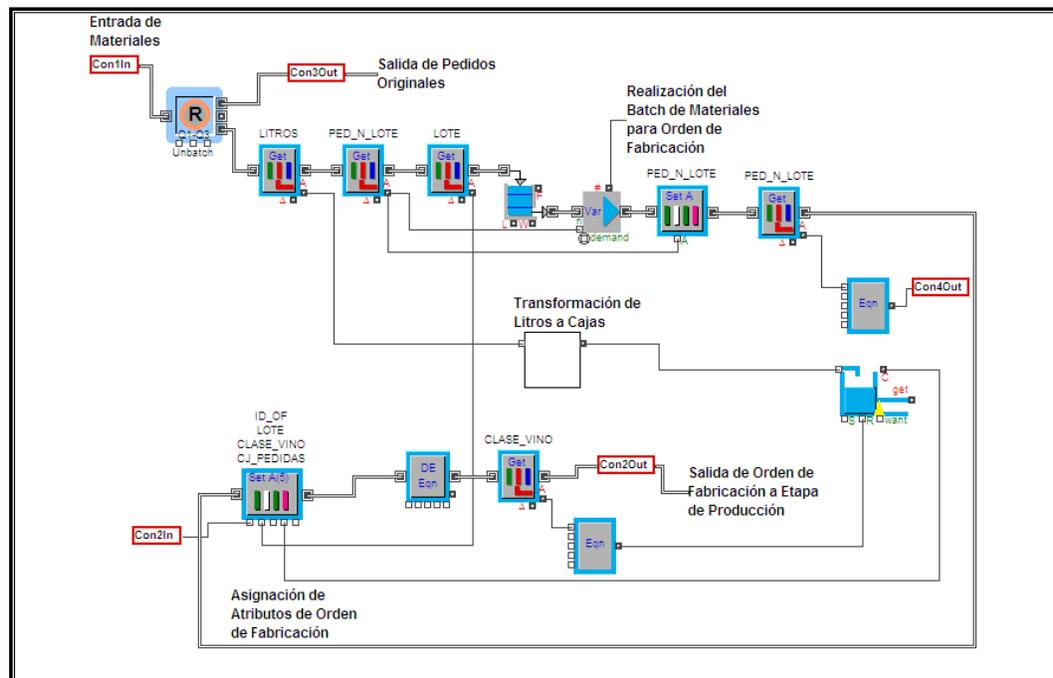


Figura B-6: Etapa 3 de formación de lotes para producto “i”

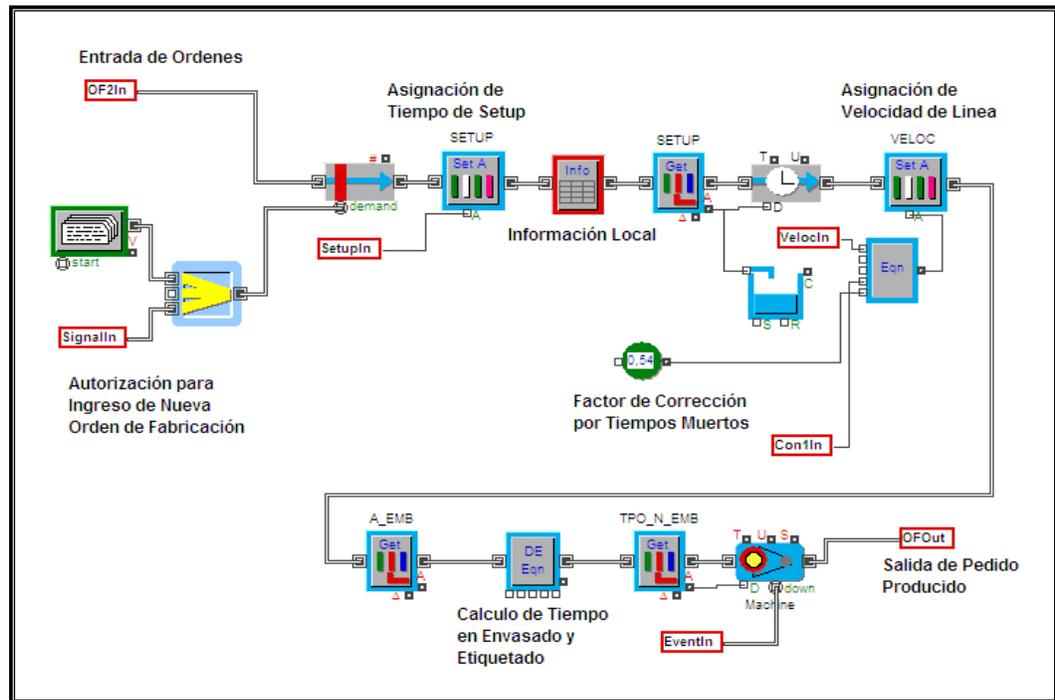


Figura B-7: Línea de producción “i”

ANEXO C: DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE RÉPLICAS

La selección del número de réplicas o corridas realizadas para cada caso de simulación estudiado, fue realizada según el método presentado por Ross (1999). El método es bastante simple y consiste inicialmente en generar datos de 30 corridas, luego se procede a calcular:

$$\frac{S}{\sqrt{k}} < d$$

En la ecuación anterior, S corresponde a la desviación estándar de los k datos obtenidos siendo k el número de réplicas realizadas para cada experimento. Finalmente, d indica la desviación estándar aceptable para la variable en estudio. En caso de no cumplirse la desigualdad, se realiza una nueva réplica y se vuelve a calcular. Mientras aquella desigualdad no se cumpla, se deben seguir generando datos del modelo. A continuación, los análisis realizados para garantizar el número de corridas en cada uno de los experimentos realizados, estos resultados se encuentran al final de cada una de las tablas de datos presentadas en el Anexo F: Tablas de Resultados. En general, con 30 réplicas de cada experimento realizado se alcanzaron valores totalmente aceptables para el alcance de este estudio. En cada una de las tablas de los datos obtenidos, se encuentran calculados y comparados los valores propuestos por este método.

ANEXO D: ANÁLISIS DE VARIABILIDAD DE PRODUCTOS

A continuación, se presenta la tabla utilizada para analizar la variabilidad de los productos considerados en el modelo de simulación.

Tabla D-1: Tabla de probabilidades de clase de vino

PRODUCTO	PROMEDIO SEMANAL (cajas)	σ (cajas)	CoV	MTS/MTO
1	52436	10123	0,19	MTS
2	3890	1972	0,51	MTO
3	26849	6339	0,24	MTS
4	1384	933	0,67	MTO
5	70532	13357	0,19	MTS
6	2150	1844	0,86	MTO
7	7547	2783	0,37	MTO
8	14584	4444	0,30	MTO
9	54976	10906	0,20	MTS
10	544	598	1,10	MTO

El CoV o coeficiente de variación se calcula mediante el cociente entre la desviación estándar σ y el promedio de la demanda semanal. Finalmente, la selección entre MTS y MTO de cada producto se encuentra presentada junto a la figura 5-4.

ANEXO E: DETERMINACIÓN DE LA POLÍTICA DE INVENTARIO

Los productos MTS seleccionados en cada uno de los experimentos, necesitan de la implementación de una política de inventario adecuada a las características que presenta el funcionamiento del sistema. Simchi-Levi, Kaminsky y Simchi-Levi (2000) analizan diferentes estrategias de inventario, entre ellas, se propone un modelo en donde se permite solicitar órdenes de reposición de inventario sin considerar un costo fijo. Por otro lado, en la determinación de un punto de reposición y del stock de seguridad no se considera el costo de quedar sin inventario disponible o *stock-out*. Se puede afirmar que esta política es adecuada las características de este modelo, debido a que se asemeja al funcionamiento del sistema en donde no existen mayores costos al momento de solicitar inventario. Asimismo, el costo de quedar sin inventario se puede despreciar por el hecho de que es la misma empresa quien produce y recibe los productos.

La política presentada por Simchi-Levi, Kaminsky y Simchi-Levi (2000) considera que el punto de reposición s y el nivel de inventario requerido S son idénticos. Cada vez que el nivel de inventario caiga bajo el nivel s será necesaria una reposición para alcanzar el nivel S nuevamente. El punto de reposición corresponde al nivel de inventario necesario para satisfacer la demanda que se produzca en el lapso de tiempo en que los productos son solicitados hasta que arriban a la bodega. El punto de reposición se calcula de la siguiente forma:

$$s = L \times D + z \times \sigma \times \sqrt{L}$$

En la ecuación anterior, el primer término corresponde a la demanda promedio D que se producirá en el tiempo L el cual corresponde al tiempo de respuesta de la reposición de inventario. El segundo término es el stock de seguridad, correspondiente al nivel de inventario necesario que protege contra el *stock-out* producido por las variaciones de la demanda. El stock de seguridad viene determinado por el nivel de seguridad z y la desviación estándar de la demanda σ .

Para la determinación de los parámetros necesarios para el cálculo de los niveles S y s , se considero un nivel de seguridad correspondiente al 95%, lo que equivale a la utilización de un z de 1,65. En el caso de los tiempos de respuestas L , se realizaron pre-simulaciones para la determinación de un L adecuados en cada uno de los experimentos.

1. Experimento 1:

El resultado de las pre-simulaciones dio como resultado que la reposición de inventario duraba en promedio unos 5 días para cada uno de los 4 productos, esto debido a que ninguno de ellos tiene alguna prioridad especial ante otro. De acuerdo a lo anterior se determinó lo siguiente.

Tabla E-1: Niveles de Inventario 95% Experimento 1 ($L = 5$ días)

Producto	Promedio Demanda Semanal D (días)	Desviación Estándar σ (cajas)	s (cajas)	Stock de Seguridad (cajas)	Cantidad de Órdenes de Fabricación	Cantidad Final de Órdenes	Cajas a Producir S (cajas)
1	52.436	10.122,8	51.571	14.116	8,32	9	55.800
3	26.849	6.338,6	28.017	8.839	5,60	6	30.000
5	70.532	13.357,0	69.007	18.626	13,53	14	71.400
9	54.976	10.905,9	54.477	15.208	10,90	11	55.000

En la tabla anterior, se presentan los parámetros necesarios para el cálculo de inventario, juntos a sus resultados. La cantidad final del nivel S viene dada por las cajas que finalmente se producirán, lo que a su vez depende de la cantidad de órdenes a producir. El nivel al cual se solicitará la reposición corresponderá a s .

Es necesario mencionar por qué se realizan diferencias entre órdenes de fabricación y cajas a producir. Cada producto tiene un máximo de cajas por orden de fabricación, debido a la capacidad de las cubas de fermentación. Se considerará que las cubas se producirán en su totalidad, sin la posibilidad de que las cubas queden semivacías para

evitar la pérdida de calidad del vino restante. Por esta última razón, es que la producción de cajas y órdenes es algo superior a lo indicado por la política propuesta ($S = s$).

2. Experimento 2:

El resultado de las pre-simulaciones para el experimento 2, dio como resultado un tiempo de respuesta promedio de 8 días. De la misma forma, para el experimento 2 se determinó lo siguiente.

Tabla E-1: Niveles de Inventario 95% Experimento 2 (L = 8 días)

Producto	Promedio Demanda Semanal D (días)	Desviación Estándar σ (cajas)	s (cajas)	Stock de Seguridad (cajas)	Cantidad de Órdenes de Fabricación	Cantidad Final de Órdenes	Cajas a Producir S (cajas)
5	70.532	13.357,0	104.169	23.561	20,43	21	107.100
9	54.976	10.905,9	82.066	19.237	16,41	17	85.000

ANEXO F: TABLAS DE DATOS

A continuación se encuentran las tablas resúmenes correspondientes a los diferentes experimentos y análisis realizados en esta investigación. Las tablas se encuentran presentadas en el siguiente orden:

- Caso 1: Sistema con 20% menos de demanda.
- Caso 2: Sistema con demanda normal.
- Caso 3: Sistema con 20% más de demanda
- Caso base con cambios en las políticas atención de clientes.
- Experimento 1: Producción Híbrida con 4 productos MTS.
- Experimento 2: Producción Híbrida con 2 productos MTS.
- Experimento 3: Experimento 1 con cambios en políticas de atención de clientes.
- Experimento 4: Experimento 2 con cambios en políticas de atención de clientes.

Tabla F-1: Resultados Caso 1: Sistema con 20% menos de demanda

Réplica	Tiempo Sistema		Cajas IN	Cajas OUT	Pedidos IN	Pedidos OUT	Pedidos Rechazados
	IC (%)	(días)					
1	91,73	13,46	10.622.772	10.613.321	17.319	16.713	0
2	92,22	13,32	10.568.076	10.558.198	17.226	16.613	0
3	92,28	13,27	10.575.249	10.568.246	17.068	16.508	0
4	91,92	13,39	10.592.096	10.586.152	17.130	16.550	0
5	92,53	13,15	10.538.142	10.530.216	17.204	16.660	0
6	92,01	13,39	10.539.995	10.528.606	17.157	16.589	0
7	92,35	13,16	10.551.304	10.539.715	16.995	16.435	0
8	92,45	13,22	10.580.105	10.577.542	17.014	16.453	0
9	92,08	13,45	10.743.735	10.736.585	17.126	16.551	0
10	92,00	13,49	10.642.899	10.636.491	17.208	16.614	0
11	92,42	13,25	10.736.689	10.725.948	17.205	16.563	0
12	92,12	13,19	10.556.622	10.546.518	17.098	16.528	0
13	92,24	13,26	10.536.309	10.528.649	17.076	16.520	0
14	91,91	13,34	10.757.295	10.742.492	17.142	16.539	0
15	92,59	13,19	10.753.618	10.742.732	17.408	16.860	0
16	92,43	13,13	10.597.195	10.585.440	17.313	16.682	0
17	91,96	13,32	10.520.275	10.511.222	17.041	16.483	0
18	91,64	13,38	10.555.508	10.542.295	17.109	16.529	0
19	92,16	13,22	10.424.106	10.413.675	17.129	16.574	0
20	92,92	12,94	10.358.075	10.349.139	17.087	16.495	0
21	92,36	13,17	10.659.245	10.653.938	17.050	16.500	0
22	91,65	13,54	10.671.150	10.644.994	17.403	16.782	0
23	92,00	13,38	10.449.737	10.441.584	17.012	16.428	0
24	92,35	13,28	10.486.553	10.475.722	17.158	16.552	0
25	92,15	13,29	10.553.165	10.543.640	17.110	16.505	0
26	91,98	13,51	10.712.939	10.706.607	17.076	16.551	0
27	92,23	13,26	10.651.246	10.643.947	17.208	16.582	0
28	92,27	13,34	10.499.722	10.488.792	17.062	16.453	0
29	91,80	13,44	10.630.938	10.622.206	17.109	16.508	0
30	92,42	13,10	10.551.401	10.541.210	16.956	16.382	0
Promedio	92,17	13,29	10.587.205	10.577.527	17.140	16.557	0
σ	0,29	0,14	97.510	97.183	112	103	0
S/\sqrt{k}	0,05	0,02	17.803	17.743	20,37	18,84	
d	0,92	0,13	105.872	105.775	171,40	165,57	
% Promedio	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	
CUMPLE	SI	SI	SI	SI	SI	SI	

Tabla F-2: Resultados Caso 2: Sistema con demanda normal

Réplica	Tiempo Sistema				Pedidos IN	Pedidos OUT	Pedidos Rechazados
	IC (%)	(días)	Cajas IN	Cajas OUT			
1	71,48	25,87	13.065.852	12.588.430	21.344	19.604	285
2	81,71	21,63	12.960.030	12.556.185	21.276	19.895	
3	68,31	26,98	13.045.852	12.550.263	21.459	19.462	493
4	78,72	23,06	13.036.525	12.536.867	21.254	19.745	59
5	70,70	26,21	12.973.885	12.539.138	21.439	19.613	374
6	73,29	25,22	12.952.575	12.528.897	21.235	19.651	113
7	76,21	23,92	12.987.585	12.523.512	21.401	19.843	89
8	78,35	23,28	13.048.290	12.551.802	21.477	19.994	
9	70,98	26,00	13.036.543	12.540.398	21.401	19.624	350
10	86,23	22,95	13.051.667	12.566.564	21.485	19.975	38
11	71,57	25,88	13.037.463	12.543.022	21.460	19.709	282
12	77,60	23,44	12.870.624	12.544.944	21.266	20.015	
13	81,11	21,94	12.942.849	12.530.813	21.410	20.003	
14	75,79	24,25	12.999.062	12.551.121	21.342	19.875	
15	70,86	26,11	13.064.317	12.571.755	21.297	19.562	196
16	71,09	25,97	13.006.300	12.526.801	21.451	19.560	355
17	72,42	25,61	12.984.648	12.566.215	21.298	19.829	5
18	80,60	22,26	12.860.334	12.534.027	21.268	20.084	
19	72,93	25,36	12.925.503	12.501.880	21.341	19.917	42
20	74,67	24,60	13.043.930	12.584.628	21.488	19.858	186
21	84,64	20,14	12.800.595	12.536.647	21.266	20.081	
22	73,11	25,17	12.993.058	12.527.002	21.604	19.979	168
23	75,19	24,47	13.006.119	12.567.796	21.271	19.781	65
24	73,17	25,36	13.015.345	12.548.089	21.521	19.718	230
25	71,96	25,71	13.020.375	12.524.829	21.245	19.662	56
26	69,43	26,64	13.073.587	12.578.010	21.702	19.511	664
27	80,18	22,42	12.944.108	12.539.421	21.466	20.065	
28	74,08	24,81	13.006.908	12.517.657	21.402	19.582	375
29	75,73	24,31	13.039.881	12.551.886	21.496	19.878	72
30	78,66	23,08	13.064.125	12.587.260	21.394	19.877	73
Promedio	75,36	24,42	12.995.265	12.547.195	21.392	19.798	208
σ	4,55	1,68	65.841	21.632	115	185	172
S/\sqrt{k}	0,83	0,31	12.021	3.949	20,91	33,69	31,47
d	1,51	0,49	259.905	250.944	427,84	395,97	41,55
% Promedio	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	20,0%
CUMPLE	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla F-3: Resultados Caso 1: Sistema con 20% más de demanda

Réplica	Tiempo Sistema				Pedidos IN	Pedidos OUT	Pedidos Rechazados
	IC (%)	(días)	Cajas IN	Cajas OUT			
1	57,55	30,07	13.015.280	12.515.264	25.627	19.648	4.316
2	58,08	29,85	13.076.807	12.582.645	25.575	19.848	4.058
3	58,85	29,73	13.053.913	12.557.916	25.303	19.560	4.135
4	56,86	30,23	12.989.617	12.489.570	25.490	19.546	4.278
5	59,60	29,49	13.063.327	12.564.238	25.514	19.905	3.948
6	58,85	29,79	13.045.373	12.550.118	25.537	19.794	4.078
7	59,07	29,64	13.049.069	12.551.332	25.997	19.931	4.312
8	58,77	29,64	13.079.044	12.580.967	25.771	19.555	4.560
9	59,17	29,55	13.032.799	12.536.411	25.610	19.951	3.945
10	56,60	30,23	13.045.563	12.548.312	25.820	19.706	4.466
11	58,66	29,67	13.064.802	12.565.980	25.549	19.807	4.024
12	60,46	29,30	13.091.804	12.592.363	25.706	19.739	4.255
13	56,67	30,17	13.051.481	12.553.048	25.588	19.727	4.192
14	60,63	29,15	13.071.960	12.574.712	25.607	19.790	4.109
15	57,81	29,90	12.989.066	12.491.810	25.816	19.850	4.324
16	59,30	29,65	13.024.489	12.526.381	25.687	19.798	4.235
17	57,21	30,19	13.059.647	12.558.635	25.779	19.666	4.427
18	54,43	30,91	13.064.549	12.578.877	25.772	19.576	4.477
19	56,83	30,32	13.031.714	12.530.991	25.532	19.789	4.120
20	57,00	30,15	13.003.478	12.512.085	25.767	19.739	4.278
21	57,84	30,14	12.999.162	12.509.447	25.743	19.692	4.397
22	58,57	29,83	13.025.117	12.525.924	25.967	19.770	4.558
23	60,36	29,10	13.026.813	12.528.505	25.358	19.866	3.887
24	59,12	29,73	13.054.887	12.556.806	25.604	19.792	4.210
25	57,61	30,09	13.044.068	12.545.272	25.579	19.790	4.077
26	55,04	30,96	13.050.922	12.550.619	25.896	19.804	4.410
27	58,16	29,80	13.066.013	12.577.872	25.719	19.983	4.114
28	57,74	29,88	13.050.964	12.552.393	25.823	19.891	4.196
29	57,91	30,02	13.079.391	12.579.548	25.533	19.861	4.009
30	56,88	30,46	13.029.309	12.536.567	25.621	19.813	4.070
Promedio	58,05	29,92	13.044.348	12.547.487	25.663	19.773	4.216
σ	1,45	0,43	26.881	26.949	162	116	184
S/\sqrt{k}	0,26	0,08	4.908	4.920	29,60	21,22	33,52
d	0,58	0,30	130.443	125.475	256,63	197,73	42,16
% Promedio	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
CUMPLE	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla F-4: Caso base con cambios en la política de atención al cliente

Réplica	Política 1	Política 2	Política 3	Política 4	Política 5
1	63,90	71,26	81,02	85,30	87,59
2	66,16	75,79	79,21	87,16	89,85
3	55,56	75,81	77,95	85,09	87,91
4	40,36	73,42	83,04	87,31	87,77
5	49,97	71,34	82,82	85,54	86,15
6	47,56	67,97	83,14	85,29	86,40
7	43,65	68,76	79,35	84,73	87,14
8	42,80	80,02	79,90	85,95	91,39
9	49,08	65,79	79,52	86,59	88,40
10	51,50	76,48	77,99	87,58	91,74
11	56,17	69,82	87,14	86,81	89,65
12	50,31	75,12	79,28	84,16	86,79
13	51,85	69,89	79,08	89,42	89,54
14	50,17	66,50	79,08	86,58	86,78
15	47,20	73,16	82,82	85,52	88,90
16	43,46	68,62	85,30	84,95	88,02
17	41,04	67,65	78,10	87,31	90,79
18	57,40	67,72	77,53	83,48	90,33
19	48,27	69,81	82,79	85,35	87,51
20	74,05	66,29	80,15	83,66	87,80
21	57,24	69,11	78,60	83,63	90,66
22	52,06	66,91	83,64	88,26	88,49
23	45,38	66,91	80,00	86,74	91,45
24	46,14	64,85	83,04	84,91	88,02
25	56,60	81,34	80,34	85,09	87,37
26	58,02	68,74	77,82	90,15	88,31
27	54,99	81,61	84,46	84,44	87,84
28	63,27	72,55	83,01	84,57	88,09
29	62,18	71,87	80,74	85,28	87,17
30	48,98	71,55	79,67	91,39	87,82
Promedio	52,51	71,22	80,88	86,07	88,52
σ	7,99	4,56	2,49	1,91	1,56
S/vk	1,46	0,83	0,45	0,35	0,29
d	1,58	1,42	0,81	0,86	0,89
% Promedio	3,0%	2,0%	1,0%	1,0%	1,0%
CUMPLE	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla F-5: Producción Híbrida con 4 productos MTS

Réplica	Tiempo Sistema				Pedidos IN	Pedidos OUT	Pedidos Rechazados
	IC (%)	(días)	Cajas IN	Cajas OUT			
1	90,99	14,32	13.194.237	13.222.382	21.572	20.821	0
2	91,92	13,48	12.971.313	13.044.137	21.377	20.648	0
3	92,42	13,34	12.957.978	13.038.475	21.354	20.636	0
4	92,48	12,93	12.940.827	13.024.684	21.230	20.521	0
5	92,73	12,80	12.916.864	12.972.672	21.292	20.593	0
6	92,28	13,26	13.163.963	13.173.125	21.520	20.786	0
7	92,49	12,91	12.902.312	12.932.905	21.304	20.605	0
8	92,22	13,32	13.122.138	13.197.043	21.638	20.840	0
9	92,33	13,24	13.077.076	13.172.531	21.393	20.722	0
10	93,29	13,22	12.966.127	13.032.526	21.353	20.633	0
11	92,26	13,06	13.043.016	13.097.824	21.440	20.687	0
12	92,69	13,08	13.040.135	13.123.642	21.118	20.387	0
13	92,36	12,97	13.083.810	13.111.512	21.256	20.520	0
14	91,24	14,26	13.071.183	13.130.199	21.278	20.565	0
15	91,94	13,37	13.038.494	13.111.847	21.368	20.686	0
16	92,17	13,16	13.132.337	13.173.459	21.370	20.633	0
17	91,93	13,70	13.101.141	13.176.470	21.569	20.870	0
18	92,43	13,22	12.980.217	13.025.186	21.088	20.348	0
19	92,07	13,51	13.068.684	13.128.967	21.431	20.698	0
20	92,34	13,28	13.081.887	13.154.204	21.379	20.624	0
21	91,83	13,66	13.174.390	13.240.774	21.558	20.866	0
22	91,68	13,89	13.203.407	13.279.165	21.344	20.651	0
23	92,35	13,21	12.889.322	12.930.481	21.344	20.628	0
24	92,45	13,03	12.988.629	13.044.822	21.412	20.632	0
25	92,46	12,96	12.944.912	13.013.813	21.348	20.600	0
26	91,40	14,17	13.228.904	13.320.113	21.492	20.796	0
27	91,17	14,15	12.970.963	13.041.309	21.335	20.579	0
28	92,70	12,94	12.948.054	12.983.952	21.249	20.511	0
29	91,12	14,15	13.193.043	13.235.975	21.461	20.805	0
30	91,91	13,57	13.060.208	13.136.308	21.268	20.592	0
Promedio	92,12	13,41	13.048.519	13.109.017	21.371	20.649	0
σ	0,53	0,44	98.113	100.429	127	128	0
S/\sqrt{k}	0,10	0,08	17.913	18.336	23,18	23,32	
d	1,84	0,27	260.970	262.180	427,43	412,99	
% Promedio	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	2,0%	
CUMPLE	SI	SI	SI	SI	SI	SI	

Tabla F-6: Producción Híbrida con 2 productos MTS

Réplica	Tiempo Sistema				Pedidos IN	Pedidos OUT	Pedidos Rechazados
	IC (%)	(días)	Cajas IN	Cajas OUT			
1	89,11	16,14	13.069.680	13.137.906	21.457	20.725	0
2	89,81	15,55	12.941.880	12.978.058	21.329	20.512	0
3	87,30	17,70	13.234.048	13.115.224	21.695	20.691	0
4	88,81	16,55	13.070.541	13.073.166	21.185	20.359	0
5	85,40	18,98	13.300.208	13.138.479	21.487	20.595	0
6	88,77	16,32	13.056.177	13.046.895	21.607	20.759	0
7	84,92	19,07	13.239.939	13.109.890	21.310	20.335	0
8	86,98	17,68	13.061.798	13.121.548	21.504	20.763	0
9	87,99	16,95	13.080.894	13.098.617	21.386	20.727	0
10	88,15	16,44	13.005.629	13.009.734	21.463	20.640	0
11	90,89	15,06	12.811.327	12.882.870	21.377	20.696	0
12	88,90	16,51	13.083.141	13.097.322	21.407	20.523	0
13	87,46	17,56	13.076.236	13.100.273	21.685	20.862	0
14	90,35	15,20	12.957.770	13.042.531	21.397	20.634	0
15	85,75	18,56	13.332.113	13.121.952	21.661	20.756	0
16	87,01	17,85	13.259.989	13.129.693	21.390	20.437	0
17	89,96	15,47	12.968.854	13.026.501	21.288	20.451	0
18	89,69	15,75	13.008.363	13.033.065	21.080	20.247	0
19	87,19	17,46	13.178.566	13.085.841	21.286	20.364	0
20	87,13	17,67	13.167.810	13.129.092	21.309	20.384	0
21	87,91	17,35	13.089.702	13.141.477	21.316	20.484	0
22	90,14	15,26	12.899.511	12.922.051	21.303	20.530	0
23	87,84	17,04	13.048.350	13.095.979	21.404	20.556	0
24	90,07	15,48	12.871.254	12.907.025	21.229	20.498	0
25	89,50	15,81	12.949.113	13.006.062	21.277	20.539	0
26	89,20	16,19	12.898.397	12.976.641	21.284	20.477	0
27	88,41	16,78	13.105.433	13.127.868	21.322	20.465	0
28	89,63	15,84	12.922.565	12.957.018	21.285	20.371	0
29	89,03	16,19	13.126.354	13.090.130	21.668	20.845	0
30	88,71	16,42	12.996.855	13.065.447	21.469	20.721	0
Promedio	88,40	16,69	13.060.417	13.058.945	21.395	20.565	0
σ	1,49	1,10	130.235	74.197	152	163	0
S/\sqrt{k}	0,27	0,20	23.777	13.546	27,77	29,80	
d	0,88	0,33	130.604	130.589	213,95	205,65	
% Promedio	1,0%	2,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	
CUMPLE	SI	SI	SI	SI	SI	SI	

Tabla F-7: Experimento 1 con cambios en la política de atención al cliente

Réplica	Política 1	Política 2	Política 3	Política 4	Política 5
1	83,67	90,69	93,98	95,45	96,05
2	84,85	91,56	92,94	95,12	96,48
3	83,23	90,05	94,33	95,61	96,07
4	86,75	91,49	93,69	95,51	96,02
5	86,11	89,99	94,38	95,66	95,94
6	85,20	90,60	93,95	95,03	96,28
7	86,14	91,27	94,15	95,38	95,61
8	84,10	91,55	93,11	95,58	96,28
9	85,94	91,35	94,05	95,65	96,21
10	85,41	91,46	94,51	95,82	96,06
11	84,86	90,43	93,99	95,63	95,98
12	84,65	91,79	94,30	95,10	96,42
13	86,39	91,01	94,47	94,88	96,04
14	86,53	88,27	93,64	94,44	96,20
15	84,89	89,60	92,85	95,70	96,09
16	86,15	90,18	93,98	95,34	96,34
17	84,92	91,65	94,33	95,92	96,21
18	86,09	91,16	93,28	95,08	95,67
19	85,89	90,90	94,52	95,10	96,24
20	85,22	91,83	94,07	95,35	96,26
21	83,24	89,73	93,89	95,67	95,80
22	85,57	89,53	93,70	95,62	96,30
23	84,04	89,51	93,37	95,28	96,39
24	84,99	90,53	93,34	95,67	96,21
25	85,53	90,94	93,66	95,55	95,99
26	86,11	90,88	94,14	94,80	96,37
27	85,00	90,91	93,86	95,34	95,48
28	85,86	91,76	93,74	95,53	95,90
29	80,24	90,45	93,02	95,68	95,92
30	85,78	91,24	94,71	95,24	95,86
Promedio	85,11	90,74	93,86	95,39	96,09
σ	1,31	0,85	0,50	0,33	0,25
S/vk	0,24	0,15	0,09	0,06	0,04
d	0,85	0,91	0,94	0,95	0,96
% Promedio	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
CUMPLE	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla F-8: Experimento 2 con cambios en la política de atención al cliente

Réplica	Política 1	Política 2	Política 3	Política 4	Política 5
1	80,26	88,13	86,35	93,38	93,79
2	73,26	78,97	91,14	90,46	93,10
3	74,25	89,19	92,05	92,66	95,02
4	70,68	85,21	88,59	93,06	91,78
5	76,64	70,90	91,07	93,44	94,26
6	77,00	87,00	91,37	93,20	94,42
7	77,45	88,90	90,58	93,19	94,36
8	78,90	84,12	92,17	92,67	94,63
9	77,79	88,86	92,69	92,55	94,22
10	78,73	88,34	92,60	95,71	95,73
11	81,00	87,62	91,22	93,25	94,88
12	81,24	87,86	90,54	91,33	94,80
13	80,07	74,45	90,83	93,91	94,84
14	74,95	85,52	91,05	93,46	94,28
15	74,82	85,75	91,12	93,31	92,75
16	78,31	87,24	87,71	91,79	94,09
17	77,52	80,98	92,05	94,26	94,40
18	73,27	85,14	90,60	93,07	93,96
19	76,50	85,21	90,70	94,34	93,66
20	77,59	80,92	90,81	91,47	93,73
21	76,11	88,32	91,61	93,11	94,76
22	76,57	88,27	90,65	94,08	93,22
23	74,53	87,62	91,93	93,74	94,97
24	79,05	81,68	91,32	93,15	94,20
25	77,34	80,71	92,56	93,76	92,66
26	80,74	86,99	91,87	93,66	95,13
27	74,77	85,38	91,31	94,41	94,16
28	72,67	87,59	91,52	92,97	94,56
29	74,09	88,15	89,88	93,33	95,03
30	77,49	85,19	88,73	93,52	94,97
Promedio	76,79	85,01	90,89	93,21	94,21
σ	2,66	4,36	1,43	1,01	0,85
S/vk	0,49	0,80	0,26	0,18	0,16
d	0,77	0,85	0,91	0,93	0,94
% Prom.	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%
CUMPLE	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla F-9: Inventario Promedio en Experimento 1

Réplica	Inventario Promedio Producto 1	Inventario Promedio Producto 3	Inventario Promedio Producto 5	Inventario Promedio Producto 9	Inventario Total
1	33.615	18.809	32.221	21.571	106.215
2	45.713	25.143	45.090	34.947	150.893
3	46.477	22.501	41.543	42.050	152.571
4	48.613	25.481	53.108	47.953	175.156
5	48.921	25.588	53.122	43.683	171.314
6	45.561	23.023	45.381	40.425	154.389
7	47.314	25.195	52.692	44.902	170.104
8	42.131	25.927	47.768	35.892	151.717
9	50.833	25.258	47.733	43.840	167.665
10	46.615	23.697	47.353	42.545	160.211
11	43.050	24.643	50.882	40.788	159.364
12	48.105	22.109	45.295	43.720	159.229
13	48.906	26.752	55.292	45.182	176.132
14	35.906	16.036	29.803	26.227	107.972
15	38.893	23.074	45.642	43.257	150.866
16	42.807	23.347	49.981	38.087	154.222
17	42.526	20.952	37.021	32.625	133.125
18	45.886	24.968	47.962	39.164	157.980
19	41.834	24.770	48.339	40.310	155.254
20	38.040	23.730	41.350	37.572	140.693
21	42.935	22.739	41.517	28.498	135.688
22	39.949	20.574	27.500	35.441	123.464
23	45.783	23.985	44.934	43.466	158.168
24	45.773	24.098	44.420	42.193	156.484
25	44.376	25.244	49.728	41.917	161.265
26	35.714	17.349	23.564	23.231	99.858
27	34.800	24.841	39.117	39.234	137.991
28	47.761	26.120	53.021	42.763	169.665
29	35.122	21.727	30.628	35.808	123.284
30	35.620	20.876	44.651	38.645	139.792
Promedio	42.986	23.285	43.889	38.531	148.691
σ	4.994	2.587	8.200	6.519	20.269
S/ \sqrt{k}	911,79	472,31	1497,05	1190,27	3700,57
d	2149,30	1164,26	2194,43	1926,56	7434,55
% Promedio	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%	5,0%
CUMPLE	SI	SI	SI	SI	SI

Tabla F-10: Inventario Promedio en Experimento 2

Réplica	Inventario Promedio Producto 5	Inventario Promedio Producto 9	Inventario Total
1	52.794	75.883	128.677
2	69.888	76.622	146.510
3	24.801	53.795	78.596
4	46.069	72.084	118.154
5	6.634	42.805	49.439
6	57.558	73.990	131.548
7	14.148	60.487	74.635
8	35.949	69.619	105.568
9	43.738	66.693	110.431
10	49.085	73.435	122.520
11	79.145	85.899	165.044
12	51.429	68.374	119.803
13	34.142	71.075	105.217
14	76.912	84.048	160.959
15	14.038	49.836	63.875
16	18.607	59.017	77.624
17	71.868	82.211	154.079
18	67.432	78.840	146.272
19	32.285	59.502	91.787
20	27.406	64.279	91.685
21	40.191	66.140	106.331
22	72.264	83.581	155.845
23	43.886	69.237	113.124
24	73.009	79.739	152.748
25	65.178	76.697	141.875
26	62.536	78.053	140.589
27	52.369	63.193	115.562
28	61.857	80.339	142.197
29	54.875	71.679	126.554
30	54.820	74.588	129.408
Promedio	48.497	70.391	118.888
σ	20.256	10.410	30.168
S/\sqrt{k}	3698,14	1900,57	5507,89
d	3879,77	5631,31	9511,08
% Promedio	8,0%	8,0%	8,0%
CUMPLE	SI	SI	SI

ANEXO G: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

Cada uno de los resultados obtenidos en la simulación fueron analizados estadísticamente, con el fin de poder afirmar si las diferencias existentes entre cada uno de los casos analizados son significativas estadísticamente. Para el análisis, fue utilizado el programa SPSS v15.0 mediante el cual se realiza un análisis estadístico de comparación la diferencia de medias. El software realiza previamente un test de Levene, el cual consiste en un análisis para aseverar si se deben seleccionar varianzas iguales o distintas. Luego, efectúa un test t de muestras independientes en donde compara ambas muestras previa selección del nivel de confianza requerido, en este caso, un nivel de 95% fue seleccionado. La presentación de los resultados se realiza de la siguiente forma, el primer recuadro indica el número de muestras utilizadas, la media, desviación estándar y el error asociado a cada caso. El segundo recuadro indica el resultado del test, la columna 't' indica el valor t obtenido para el análisis. El valor crítico utilizado en el estudio corresponde a 0,05 dado por el nivel de confianza de 95%, si el valor indicado en la columna 'Sig. (2-tailed)' sobrepasa el valor crítico significa que no existe evidencia para afirmar que las medias presentan diferencias significativas.

A continuación, se presentan los diferentes análisis estadísticos realizados durante la comparación de los distintos experimentos identificados por la tabla de datos analizada:

1. Tabla 6-1:

Test de Levene

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ICA	41,101	2	87	,000
TS	45,450	2	87	,000
CAJIN	11,994	2	87	,000
CAJOUT	24,050	2	87	,000
PEDIN	3,303	2	87	,041
PEDOUT	10,467	2	87	,000

Según el test de Levene, la significancia (Sig.) para cada uno de las variables analizadas es menor al nivel 0,05 propuesto, lo que indica que no existe evidencia estadísticamente significativa para afirmar que la varianza no es homogénea, por lo que para el siguiente test se supondrán varianzas iguales.

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) CASO	(J) CASO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
ICA	1	2	16,81333*	,71365	,000	15,3949	18,2318
		3	34,11800*	,71365	,000	32,6995	35,5365
	2	1	-16,81333*	,71365	,000	-18,2318	-15,3949
		3	17,30467*	,71365	,000	15,8862	18,7231
	3	1	-34,11800*	,71365	,000	-35,5365	-32,6995
		2	-17,30467*	,71365	,000	-18,7231	-15,8862
TS	1	2	-11,12733*	,25984	,000	-11,6438	-10,6109
		3	-16,62700*	,25984	,000	-17,1435	-16,1105
	2	1	11,12733*	,25984	,000	10,6109	11,6438
		3	-5,49967*	,25984	,000	-6,0161	-4,9832
	3	1	16,62700*	,25984	,000	16,1105	17,1435
		2	5,49967*	,25984	,000	4,9832	6,0161
CAJIN	1	2	-2408059,1*	17991,24	,000	-2443818,68	-2372299,59
		3	-2457142,2*	17991,24	,000	-2492901,78	-2421382,69
	2	1	2408059,1*	17991,24	,000	2372299,591	2443818,676
		3	-49083,100*	17991,24	,008	-84842,6424	-13323,5576
	3	1	2457142,2*	17991,24	,000	2421382,691	2492901,776
		2	49083,100*	17991,24	,008	13323,5576	84842,6424
CAJOUT	1	2	-1969667,9*	15375,85	,000	-2000229,06	-1939106,74
		3	-1969959,5*	15375,85	,000	-2000520,69	-1939398,37
	2	1	1969667,9*	15375,85	,000	1939106,740	2000229,060
		3	-291,63333	15375,85	,985	-30852,7936	30269,5269
	3	1	1969959,5*	15375,85	,000	1939398,373	2000520,694
		2	291,63333	15375,85	,985	-30269,5269	30852,7936
PEDIN	1	2	-4252,0000*	33,94167	,000	-4319,4627	-4184,5373
		3	-8523,0333*	33,94167	,000	-8590,4961	-8455,5706
	2	1	4252,00000*	33,94167	,000	4184,5373	4319,4627
		3	-4271,0333*	33,94167	,000	-4338,4961	-4203,5706
	3	1	8523,03333*	33,94167	,000	8455,5706	8590,4961
		2	4271,03333*	33,94167	,000	4203,5706	4338,4961
PEDOUT	1	2	-3241,6667*	35,96435	,000	-3313,1497	-3170,1836
		3	-3216,1667*	35,96435	,000	-3287,6497	-3144,6836
	2	1	3241,66667*	35,96435	,000	3170,1836	3313,1497
		3	25,50000	35,96435	,480	-45,9830	96,9830
	3	1	3216,16667*	35,96435	,000	3144,6836	3287,6497
		2	-25,50000	35,96435	,480	-96,9830	45,9830

*. The mean difference is significant at the .05 level.

En la tabla anterior, se comparan las distintas variables de los distintos casos analizados en la tabla 6-1. En el índice CAJOUT correspondiente a las cajas producidas, este no presenta diferencia significativa entre el caso 2 y 3.

2. Tabla 6-3:

Test de Levene

ICA

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
16,675	5	174	,000

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ICA

LSD

(I) POLITICA	(J) POLITICA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	1	22,84833*	1,14296	,000	20,5925	25,1042
	2	4,13700*	1,14296	,000	1,8812	6,3928
	3	-5,52533*	1,14296	,000	-7,7812	-3,2695
	4	-10,71567*	1,14296	,000	-12,9715	-8,4598
	5	-13,16333*	1,14296	,000	-15,4192	-10,9075
1	0	-22,84833*	1,14296	,000	-25,1042	-20,5925
	2	-18,71133*	1,14296	,000	-20,9672	-16,4555
	3	-28,37367*	1,14296	,000	-30,6295	-26,1178
	4	-33,56400*	1,14296	,000	-35,8198	-31,3082
	5	-36,01167*	1,14296	,000	-38,2675	-33,7558
2	0	-4,13700*	1,14296	,000	-6,3928	-1,8812
	1	18,71133*	1,14296	,000	16,4555	20,9672
	3	-9,66233*	1,14296	,000	-11,9182	-7,4065
	4	-14,85267*	1,14296	,000	-17,1085	-12,5968
	5	-17,30033*	1,14296	,000	-19,5562	-15,0445
3	0	5,52533*	1,14296	,000	3,2695	7,7812
	1	28,37367*	1,14296	,000	26,1178	30,6295
	2	9,66233*	1,14296	,000	7,4065	11,9182
	4	-5,19033*	1,14296	,000	-7,4462	-2,9345
	5	-7,63800*	1,14296	,000	-9,8938	-5,3822
4	0	10,71567*	1,14296	,000	8,4598	12,9715
	1	33,56400*	1,14296	,000	31,3082	35,8198
	2	14,85267*	1,14296	,000	12,5968	17,1085
	3	5,19033*	1,14296	,000	2,9345	7,4462
	5	-2,44767*	1,14296	,034	-4,7035	-,1918
5	0	13,16333*	1,14296	,000	10,9075	15,4192
	1	36,01167*	1,14296	,000	33,7558	38,2675
	2	17,30033*	1,14296	,000	15,0445	19,5562
	3	7,63800*	1,14296	,000	5,3822	9,8938
	4	2,44767*	1,14296	,034	-,1918	4,7035

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Para los resultados analizados de la tabla 6-3, se concluye que todos los resultados presentan diferencias significativas debido a que no existe evidencia para lo contrario, y se asumió varianzas iguales de acuerdo al test de Levene.

3. Tabla 6-4:

Multiple Comparisons

LSD

Dependent Variable	(I) CASO	(J) CASO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
ICA	1	2	-16,76267*	,71903	,000	-18,1918	-15,3335
		3	-13,04133*	,71903	,000	-14,4705	-11,6122
	2	1	16,76267*	,71903	,000	15,3335	18,1918
		3	3,72133*	,71903	,000	2,2922	5,1505
	3	1	13,04133*	,71903	,000	11,6122	14,4705
		2	-3,72133*	,71903	,000	-5,1505	-2,2922
TS	1	2	11,01633*	,30739	,000	10,4054	11,6273
		3	7,72733*	,30739	,000	7,1164	8,3383
	2	1	-11,01633*	,30739	,000	-11,6273	-10,4054
		3	-3,28900*	,30739	,000	-3,9000	-2,6780
	3	1	-7,72733*	,30739	,000	-8,3383	-7,1164
		2	3,28900*	,30739	,000	2,6780	3,9000
CAJIN	1	2	-53254,533*	26213,76	,045	-105357,2279	-1151,8387
		3	-65152,067*	26213,76	,015	-117254,7613	-13049,3721
	2	1	53254,533*	26213,76	,045	1151,8387	105357,2279
		3	-11897,533	26213,76	,651	-64000,2279	40205,1613
	3	1	65152,067*	26213,76	,015	13049,3721	117254,7613
		2	11897,533	26213,76	,651	-40205,1613	64000,2279
CAJOUT	1	2	-561821,43*	18890,90	,000	-599369,1424	-524273,7243
		3	-511749,87*	18890,90	,000	-549297,5757	-474202,1576
	2	1	561821,43*	18890,90	,000	524273,7243	599369,1424
		3	50071,567*	18890,90	,010	12523,8576	87619,2757
	3	1	511749,87*	18890,90	,000	474202,1576	549297,5757
		2	-50071,567*	18890,90	,010	-87619,2757	-12523,8576
PEDIN	1	2	20,60000	34,11163	,547	-47,2006	88,4006
		3	-3,36667	34,11163	,922	-71,1672	64,4339
	2	1	-20,60000	34,11163	,547	-88,4006	47,2006
		3	-23,96667	34,11163	,484	-91,7672	43,8339
	3	1	3,36667	34,11163	,922	-64,4339	71,1672
		2	23,96667	34,11163	,484	-43,8339	91,7672
PEDOUT	1	2	-851,03333*	41,36684	,000	-933,2544	-768,8123
		3	-766,46667*	41,36684	,000	-848,6877	-684,2456
	2	1	851,03333*	41,36684	,000	768,8123	933,2544
		3	84,56667*	41,36684	,044	2,3456	166,7877
	3	1	766,46667*	41,36684	,000	684,2456	848,6877
		2	-84,56667*	41,36684	,044	-166,7877	-2,3456
INVENTARIO	1	2	-148691,03*	5417,940	,000	-159459,7755	-137922,2911
		3	-118888,53*	5417,940	,000	-129657,2755	-108119,7911
	2	1	148691,03*	5417,940	,000	137922,2911	159459,7755
		3	29802,500*	5417,940	,000	19033,7578	40571,2422
	3	1	118888,53*	5417,940	,000	108119,7911	129657,2755
		2	-29802,500*	5417,940	,000	-40571,2422	-19033,7578

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Los índices ICA, TS, CAJOUT, PEDOUT e INVENTARIO presentan diferencias significativas según los resultados. Por otro lado, CAJIN presenta diferencias en la comparación de los casos 1 con 3 y 2 con 3, sin embargo se encuentran cerca del límite. Caso a parte resulta ser el índice PEDIN, ya que en la siguiente tabla del test de Levene resulta tener evidencia para asumir varianzas diferentes.

Test de Levene

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ICA	37,152	2	87	,000
TS	18,630	2	87	,000
CAJIN	5,438	2	87	,006
CAJOUT	20,371	2	87	,000
PEDIN	,875	2	87	,420
PEDOUT	4,431	2	87	,015
INVENTARIO	29,852	2	87	,000

De acuerdo a lo presentado, el test de independencia debe ser realizado asumiendo las varianzas iguales. Los resultados son presentados a continuación.

Multiple Comparisons

Dependent Variable: PEDIN

Tamhane

(I) CASO	(J) CASO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	20,60000	31,21416	,884	-56,1686	97,3686
	3	-3,36667	34,75850	1,000	-89,0196	82,2863
2	1	-20,60000	31,21416	,884	-97,3686	56,1686
	3	-23,96667	36,17088	,883	-112,9824	65,0490
3	1	3,36667	34,75850	1,000	-82,2863	89,0196
	2	23,96667	36,17088	,883	-65,0490	112,9824

Finalmente, se puede afirmar que no existen diferencias significativas en los distintos casos para decir que las medias son diferentes.

4. Tabla 6-5:

- Análisis para MTS-4

Test de Levene

ICA

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
9,849	5	174	,000

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ICA

LSD

(I) POLITICA	(J) POLITICA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	1	7,01000*	,18676	,000	6,6414	7,3786
	2	1,37800*	,18676	,000	1,0094	1,7466
	3	-1,74333*	,18676	,000	-2,1119	-1,3747
	4	-3,26933*	,18676	,000	-3,6379	-2,9007
	5	-3,96733*	,18676	,000	-4,3359	-3,5987
1	0	-7,01000*	,18676	,000	-7,3786	-6,6414
	2	-5,63200*	,18676	,000	-6,0006	-5,2634
	3	-8,75333*	,18676	,000	-9,1219	-8,3847
	4	-10,27933*	,18676	,000	-10,6479	-9,9107
	5	-10,97733*	,18676	,000	-11,3459	-10,6087
2	0	-1,37800*	,18676	,000	-1,7466	-1,0094
	1	5,63200*	,18676	,000	5,2634	6,0006
	3	-3,12133*	,18676	,000	-3,4899	-2,7527
	4	-4,64733*	,18676	,000	-5,0159	-4,2787
	5	-5,34533*	,18676	,000	-5,7139	-4,9767
3	0	1,74333*	,18676	,000	1,3747	2,1119
	1	8,75333*	,18676	,000	8,3847	9,1219
	2	3,12133*	,18676	,000	2,7527	3,4899
	4	-1,52600*	,18676	,000	-1,8946	-1,1574
	5	-2,22400*	,18676	,000	-2,5926	-1,8554
4	0	3,26933*	,18676	,000	2,9007	3,6379
	1	10,27933*	,18676	,000	9,9107	10,6479
	2	4,64733*	,18676	,000	4,2787	5,0159
	3	1,52600*	,18676	,000	1,1574	1,8946
	5	-,69800*	,18676	,000	-1,0666	-,3294
5	0	3,96733*	,18676	,000	3,5987	4,3359
	1	10,97733*	,18676	,000	10,6087	11,3459
	2	5,34533*	,18676	,000	4,9767	5,7139
	3	2,22400*	,18676	,000	1,8554	2,5926
	4	,69800*	,18676	,000	,3294	1,0666

*. The mean difference is significant at the .05 level.

- Análisis para MTS-2

Test of Homogeneity of Variances

ICA

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
12,829	5	174	,000

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ICA

LSD

(I) POLITICA	(J) POLITICA	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
0	1	11,61400*	,59761	,000	10,4345	12,7935
	2	3,39333*	,59761	,000	2,2138	4,5728
	3	-2,48700*	,59761	,000	-3,6665	-1,3075
	4	-4,80767*	,59761	,000	-5,9872	-3,6282
	5	-5,81167*	,59761	,000	-6,9912	-4,6322
1	0	-11,61400*	,59761	,000	-12,7935	-10,4345
	2	-8,22067*	,59761	,000	-9,4002	-7,0412
	3	-14,10100*	,59761	,000	-15,2805	-12,9215
	4	-16,42167*	,59761	,000	-17,6012	-15,2422
	5	-17,42567*	,59761	,000	-18,6052	-16,2462
2	0	-3,39333*	,59761	,000	-4,5728	-2,2138
	1	8,22067*	,59761	,000	7,0412	9,4002
	3	-5,88033*	,59761	,000	-7,0598	-4,7008
	4	-8,20100*	,59761	,000	-9,3805	-7,0215
	5	-9,20500*	,59761	,000	-10,3845	-8,0255
3	0	2,48700*	,59761	,000	1,3075	3,6665
	1	14,10100*	,59761	,000	12,9215	15,2805
	2	5,88033*	,59761	,000	4,7008	7,0598
	4	-2,32067*	,59761	,000	-3,5002	-1,1412
	5	-3,32467*	,59761	,000	-4,5042	-2,1452
4	0	4,80767*	,59761	,000	3,6282	5,9872
	1	16,42167*	,59761	,000	15,2422	17,6012
	2	8,20100*	,59761	,000	7,0215	9,3805
	3	2,32067*	,59761	,000	1,1412	3,5002
	5	-1,00400	,59761	,095	-2,1835	,1755
5	0	5,81167*	,59761	,000	4,6322	6,9912
	1	17,42567*	,59761	,000	16,2462	18,6052
	2	9,20500*	,59761	,000	8,0255	10,3845
	3	3,32467*	,59761	,000	2,1452	4,5042
	4	1,00400	,59761	,095	-,1755	2,1835

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Los análisis correspondientes a la tabla 6-5 se dividieron en 2, uno correspondiente a la estrategia MTS-4 y otro para MTS-2. En el primer caso, según las tablas presentadas se observan diferencias estadísticas en todos los casos presentados, asumiendo igualdad de varianza según el test de Levene. En el segundo caso, MTS-2, sucede lo mismo, a excepción de la comparación de la política 4 con 5 en donde no existe una diferencia con la que se pueda afirmar que dichos índices son diferentes ya que supera el nivel de significancia de 0,05.