



**IMPACTO DE LOS PARÁMETROS DE CONGELACIÓN DE DECISIONES EN LA
PLANIFICACIÓN DEL ALMACENAMIENTO EXTERNO EN UN ENTORNO DE
INCERTIDUMBRE Y ESTACIONALIDAD DE LA DEMANDA.
CASO DE ESTUDIO: EMPRESAS DE BEBIDAS GASEOSAS**

DAVID ENRIQUE NAVARRO DÍAZ-GRANADOS

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MINOR EN LOGÍSTICA Y PRODUCTIVIDAD

CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C.

2011



Universidad
Tecnológica de Bolívar
CARTAGENA DE INDIAS

**IMPACTO DE LOS PARÁMETROS DE CONGELACIÓN DE DECISIONES EN LA
PLANIFICACIÓN DEL ALMACENAMIENTO EXTERNO EN UN ENTORNO DE
INCERTIDUMBRE Y ESTACIONALIDAD DE LA DEMANDA.
CASO DE ESTUDIO: EMPRESAS DE BEBIDAS GASEOSAS**

DAVID ENRIQUE NAVARRO DÍAZ-GRANADOS

**PROYECTO PRESENTADO COMO REQUISITO FINAL PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

DIRECTOR

M.SC. JAIRO RAFAEL CORONADO-HERNÁNDEZ

INGENIERO INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MINOR EN LOGÍSTICA Y PRODUCTIVIDAD

CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C.

2011

Cartagena de Indias, D. T y C. Octubre de 2011

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Ciudad

Respetados señores:

Con todo el interés me dirijo a Uds. Para presentar a su consideración, estudio y aprobación la monografía titulada **IMPACTO DE LOS PARÁMETROS DE CONGELACIÓN DE DECISIONES EN LA PLANIFICACIÓN DEL ALMACENAMIENTO EXTERNO EN UN ENTORNO DE INCERTIDUMBRE Y ESTACIONALIDAD DE LA DEMANDA. CASO DE ESTUDIO: EMPRESAS DE BEBIDAS GASEOSAS**, como requisito para obtener el título de Ingeniero Industrial.

Atentamente,

DAVID ENRIQUE NAVARRO DÍAZ-GRANADOS

Cartagena de Indias, D. T y C. Octubre de 2011

Señores

COMITÉ CURRICULAR

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

Ciudad

Respetados señores:

Por medio de la presente me permito hacer entrega de la monografía titulada **IMPACTO DE LOS PARÁMETROS DE CONGELACIÓN DE DECISIONES EN LA PLANIFICACIÓN DEL ALMACENAMIENTO EXTERNO EN UN ENTORNO DE INCERTIDUMBRE Y ESTACIONALIDAD DE LA DEMANDA. CASO DE ESTUDIO: EMPRESAS DE BEBIDAS GASEOSAS**, para su estudio y evaluación, la cual fue realizada por el estudiante **DAVID ENRIQUE NAVARRO DIAZ-GRANADOS** y en la que me desempeñé cumpliendo la función de director de la monografía.

Atentamente,

JAIRO RAFAEL CORONADO HERNANDEZ
PROFESOR INGENIERÍA INDUSTRIAL

UNIVERSIDAD TECNOLOGÍA DE BOLÍVAR Cartagena de Indias, D. T y C. Julio de 2011

AUTORIZACIÓN

Yo, **DAVID ENRIQUE NAVARRO DÍAZ-GRANADOS**, identificado con la cédula de ciudadanía número **1'128.060.780 de Cartagena**, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar, para hacer uso de mi trabajo de monografía y publicarlo en el catálogo on-line de la Biblioteca.

DAVID ENRIQUE NAVARRO DÍAZ-GRANADOS

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a:

A Dios

Por darme fuerza en mis momentos de debilidad

A mis padres

Por no dejarme desfallecer cuando quería abandonarlo todo

A Jairo Coronado

Por creer que podía dar más de mí, incluso cuando ni yo mismo lo creía

TABLA DE CONTENIDO

Índice de Tablas

Índice de Figuras

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas se enfrentan cada día a mayores retos y desafíos para poder sobrevivir en un entorno más competitivo. Una de las áreas de mayor impacto en la competitividad de una empresa es el almacenamiento de inventario, debido a que una mala planeación puede conllevar altos sobrecostos o provocar demanda insatisfecha.

En este trabajo se aborda el impacto de los parámetros de congelación de decisiones en la planificación del almacenamiento externo analizado desde el impacto en las unidades almacenadas en un operador externo, bajo el contexto del caso de estudio, el cual es una empresa que desempeña sus actividades en un entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda.

En este estudio se utilizó como metodología una combinación de técnicas de simulación con diseño de experimento, dicha combinación ha mostrado resultados efectivos en investigaciones predecesoras, por lo cual se esperan resultados igualmente confiables.

Se analizaron el impacto de los factores, uso de Stock Objetivo, Periodo de Planificación, Periodo de Re Planificación e Incertidumbre de la Demanda, esperando identificar patrones de comportamiento en el almacenamiento externo que permitan realizar una mejor planeación anual del mismo en organizaciones que se encuentren en entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda.

Adicionalmente, se desarrollaron una serie de simulaciones adicionales para analizar el comportamiento del almacenamiento externo en diferentes escenarios de incertidumbre. Para finalizar, es adecuado decir que se encontraron diferencias significativas en cada uno de los efectos evaluados, también se hallaron patrones en el comportamiento del almacenamiento externo bajo diferentes escenarios de incertidumbre.

2. GENERALIDADES

2.1. ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Esta propuesta de monografía se desarrolla dentro del marco de investigación de la GESTIÓN CADENA DE SUMINISTRO, gracias al análisis de las actividades relacionadas con el flujo de materiales e información al interior de la organización de sistemas productivos, para la optimización de la cadena de abastecimiento.

2.2. ALCANCE

Con esta propuesta de monografía se pretende determinar por medio de un diseño experimental como impactan los parámetros de congelación de decisiones en la planificación de la producción y el almacenamiento en un entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda

2.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La problemática que se pretende resolver nace de la necesidad de realizar una mejor planificación anual de la producción y de almacenes, en empresas de bebidas refrescantes, cuando existe incertidumbre y estacionalidad en la demanda. Este problema se enmarca en ambiente de múltiples productos, múltiples periodos, capacidad limitada de producción y almacenamiento. Se pretende que la planificación generada sea robusta a las fluctuaciones y estacionalidad de la demanda sujeto a las limitaciones propias del sistema y a los requerimientos legales.

La planeación de producción es la consecuencia de la jerarquía de decisiones que trata con diferentes temas en un ambiente de manufactura (Ozdamar, Bozyel, & Birbil, 1998). Estas decisiones están sujetas a un ambiente donde existe incertidumbre (Kazemi, Ait-Kadi, & Nourelfath, 2010) y/o estacionalidad (Buxey, 2003). La incertidumbre en un sistema de manufactura puede provenir de cuatro factores (Bakir & Byrne, 1998): la demanda, tiempos intrínsecos al proceso, fallas y mantenimientos en las estaciones de trabajo, y por ultimo en los costes. Por otro lado, la estacionalidad en las ventas produce picos de demanda que exceden la capacidad productiva (Buxey, 2003). De esa manera, los planificadores deben responder implementando una estrategia apropiada para manejar la incertidumbre y la estacionalidad. La estrategia seleccionada debe permitir que se tomen decisiones flexibles que permitan adaptarse a las nuevas situaciones.

Los modelos de planeación deterministas no reconocen la incertidumbre en los pronósticos de demanda futura y con ellos, se pueden esperar resultados inferiores a las decisiones planeadas. En ese sentido, existe el riesgo que la demanda no pueda satisfacerse correctamente y en consecuencia obtener altos niveles de inventarios y faltantes, con bajos niveles de servicio (Kazemi et al., 2010). Además, en el mundo real, los datos o parámetros de entrada, son imprecisos porque la información es incompleta o no obtenible en el horizonte medio de tiempo (Wang & Liang, 2004).

En síntesis, el problema de la investigación se centra en analizar cómo impactan los parámetros de congelación de decisiones en la planificación de la producción y el almacenamiento en un entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda, usando como caso de estudio una empresa de bebidas refrescantes

2.3.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo impactan los parámetros de congelación de decisiones en la planificación del almacenamiento externo en un entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda?

2.4. OBJETIVOS

2.4.1. OBJETIVO GENERAL

- Estudiar el impacto de los parámetros de congelación de decisiones en la planificación del almacenamiento externo en un entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda.

2.4.2. OBJETIVO ESPECIFICO

- Realizar un estado del arte respecto a los parámetros de almacenamiento externo con énfasis en entornos de incertidumbre y estacionalidad de la demanda
- Realizar un diseño de experimentos para analizar el impacto de los parámetros de congelación sobre un sistema de producción utilizando el software STATGRAPHICS.
- Simular los diferentes escenarios dados en el diseño de experimentos mediante el software GAVIOTA 1.0
- Validar los supuestos estadísticos relacionados al diseño de experimentos, a fin de determinar la validez del estudio.
- Analizar los resultados y determinar los hallazgos encontrados para evaluar el comportamiento del sistema con el propósito de sacar conclusiones.

2.5. JUSTIFICACIÓN

Con esta investigación se busca determinar cómo impactan los parámetros de congelación de decisiones en el almacenamiento externo en un entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda.

El caso a estudiar es una empresa de bebidas gaseosas debido a que presenta un comportamiento de la demanda particular, presentando una baja demanda en los meses de invierno y aumentando a la vez que se acerca el verano, es decir, presenta ciclos de alta y baja demanda anuales.

Si bien existen numerosos estudios en torno al tema, esta sería la primera investigación que se desarrollara en un entorno de estacionalidad e incertidumbre de la demanda basados en el almacenamiento externo, y los resultados pueden ser transformados rápidamente a su equivalente en costos, al multiplicar el número de unidades por el costo de almacenamiento externo.

Si bien no existe ninguna organización patrocinando estos estudios, los resultados obtenidos pueden llegar a ser de interés para cualquier empresa que deba planificar su producción bajo un entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda, por ejemplo, bebidas gaseosas, libros y cuadernos, adornos navideños, etc.

Al finalizar la investigación, se busca enviar un artículo basado en los resultados obtenidos a una revista científica para mostrar los hallazgos obtenidos.

2.6. ASPECTO METODOLÓGICO

2.6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación a desarrollar es de tipo experimental, mediante el uso de software especializado, se llevaran a cabo experimentos en los cuales, se busca determinar patrones de comportamientos en sistemas productivos

2.6.2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Con la metodología propuesta a continuación se pretende analizar el impacto de los parámetros de congelación de decisiones en la planificación de la producción y el almacenamiento en un entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda. Se desarrollará de la siguiente manera:

- Se realizara una revisión de la literatura científica disponible, es decir, se consultarán artículos y publicaciones de investigaciones realizadas alrededor del tema.
- Con ayuda del software estadístico STATGRAPHICS, se desarrollarán los diseños de experimentos para analizar el impacto de los parámetros estudiados
- Se utilizara el software GAVIOTA 1.0 para simular los diferentes escenarios a fin de evaluar el desempeño de las variables de respuesta.
- Se harán las pruebas correspondientes al diseño de experimentos para validar los supuestos estadísticos del diseño de experimentos
- Se analizarán los resultados obtenidos a fin de evaluar el comportamiento general del sistema, y se redactarán las conclusiones pertinentes

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN (Santos, 2008)

La planificación en las empresas es el proceso mediante el cual un departamento organiza recursos en el tiempo a fin de optimizar su utilización y conseguir el mayor beneficio para las mismas. En este orden de ideas, la planificación de la producción es el proceso mediante el cual se distribuirán los recursos disponibles en el departamento de producción, a fin de cumplir un objetivo con la mayor eficiencia posible.

El objetivo del proceso de planificación de la producción es responder a las necesidades del cliente, tanto en cantidad como en plazos de entrega, al menor costo posible y respetando, para ello, las restricciones de capacidad disponible. (Santos, 2008)

3.1.1. PLANIFICACIÓN JERÁRQUICA DE LA PRODUCCIÓN

Tradicionalmente las organizaciones manufactureras dividen los planes de producción en tres escalones: el Plan de Producción Agregado, el Plan Maestro de Producción (MPS) y el Planificación de los Requerimientos de Material (MRP). Todos estos escalones, están guiados por el pronóstico de demanda.

Los 4 eslabones de la cadena están interrelacionados entre si y comparten información con entre ellos. Así el MPS lleva la batuta entre los departamentos de compras, distribución y despacho, marketing, y producción. El MRP vincula los diferentes departamentos relacionados a la actividad productiva a fin de permitir el adecuado funcionamiento y absorber cambios de último minuto. El flujo de información se muestra en la Fig. 1:

Fig. Flujo de la información en el plan de producción

3.1.2. PLAN AGREGADO DE PRODUCCIÓN

El plan agregado de producción se encuentra en los niveles más altos de la cadena jerárquica de planificación de la producción, y su objetivo es definir los niveles de producción, mano de obra, y niveles de inventario en n periodos de tiempo hacia adelante pero de manera agregada, es decir, basado en familias de productos más que en artículos concretos.

3.1.3. PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN (MPS)

El MPS corresponde a la planificación de los productos con demanda independiente, y se deriva directamente del plan agregado de producción. Luego de obtener plan agregado de producción, el siguiente paso es desagregarlo, a fin definir las cantidades de productos que se van a producir en cada periodo de tiempo, respetando las restricciones de capacidad.

El plan maestro tiene un efecto sobre el MRP, dado que la selección de tamaño del lote influye significativamente en el costo total y la inestabilidad en el sistema MRP. El rendimiento del tamaño del lote es significativamente influenciado por la estructura del producto, la estructura de costos y los patrones de demanda. Los tamaños de lote más grande incrementan los inventarios de materia prima, producto en proceso y de productos terminados, ocasionando mayores costos en el sistema, pero al mismo tiempo aumenta los niveles de servicio, por lo tanto se es necesario encontrar un punto de equilibrio entre estos valores (Santos, 2008)

3.1.4. PLANIFICACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS DE PRODUCCIÓN (MRP)

Según la definición de Orlicky (1975), el MRP consiste en una serie de procedimientos, reglas de decisión y registros diseñados para convertir el Programa Maestro de Producción en Necesidades Netas para cada Periodo de Planificación. El objetivo con el que se desarrolló la metodología MRP fue sustituir los sistemas de información tradicionales de planificación y control de la producción (Cooper y Zmumd, 1990).

Es decir, el sistema MRP está construido alrededor del BOM y su validez depende de la exactitud del mismo (Chung y Zinder, 2000). Según George Plossl, uno de los padres del MRP, «el MRP calcula qué necesito, lo compara con lo que tengo y calcula qué voy a necesitar y cuándo». Este es el verdadero avance del MRP I; por primera vez la planificación de necesidades de materiales es capaz de dar respuesta al cuándo (Ptack y Schragenheim, 2000).

En los primeros acercamientos a los sistemas MRP, éste se ve como un sistema estático en el tiempo, con periodos de planificación fijos e información disponible e invariable, condiciones que no son aplicables en la realidad de las empresas, donde la información disponible es limitada, existe incertidumbre en los pronósticos de las demandas y los datos son cambiantes día a día.

La planeación de las organizaciones se realiza en un entorno dinámico, y lo que era verdadero ayer no necesariamente se cumplirá el día de hoy. Las condiciones del entorno varían, los pronósticos cambian, se confirman o cancelan órdenes de producción y un sinnúmero de factores que obligan a cambiar el plan de producción. Es debido a este entorno dinámico que es frecuente encontrar horizontes temporales dentro de los planes de producción.

3.2. HORIZONTE DE PLANIFICACION

- Corto: está asociado a la planeación día a día, y sus medidas se encuentran en días o semanas, es especialmente útil en la administración de los inventarios o la planificación de las operaciones y requerimientos de materiales
- Mediano: se mide en semanas y meses, y describe los patrones de ventas y/o distribución de los productos, requerimientos de personal, etc.
- Largo: usualmente se mide en años, y son útil para revisar los patrones de la demanda, planificar la capacidad, locación de plantas, etc.
- Rodante: es un término utilizado cuando el entorno de planeación es dinámico y la planificación de la producción se revisa y modifica cada periodo.

3.2.1. PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN EL HORIZONTE RODANTE

El horizonte de planificación rodante (*RH*- Rolling Horizon) consiste en dividir el problema con un horizonte largo de planificación, en pequeños sub-problemas con horizonte más pequeños. Con horizontes más pequeños se tiene más fiabilidad de la información, dado que hay menos incertidumbre en el sistema. En cada uno de esos horizontes el problema es resuelto en detalle y la información va siendo agregada al horizonte de planificación a medida que evoluciona el tiempo (Al-Ameri, Shah, & Papageorgiou, 2008). De esta manera se pasa de una planeación estática a largo plazo en una planeación dinámica de periodos más pequeños teniendo en cuenta todo el horizonte de planificación.

El Rh es el método mediante el cual la mayor parte de los modelos dinámicos de programación lineal se aplica en el mundo real. Esta metodología es muy popular en la industria para hacer frente a la incertidumbre (Stadtler, 2005) (Brandimarte,

2006) dado que un horizonte finito a largo plazo presenta deficiencias inherentes (Clark, 2005) porque la mayoría de aplicaciones con modelos estáticos futuros, los requerimientos se basan en previsiones, las cuales tienen errores. El RH es un esquema de planificación que ha sido propuesto por muchos investigadores como estrategia para manejar los efectos de la incertidumbre (Millar, 1998).

Dentro de un horizonte rodante hay decisiones que se requieren congelar dentro de tres parámetros temporales. Periodo de re-planeación (Periodo de congelación), el periodo de congelación semilíquido y el periodo líquido. El periodo de congelación se define a partir del número de periodos de re-planeación, es decir como el numero de periodos en que quedan fijas las decisiones; en este periodo se asume que no hay incertidumbre en la información. El periodo semilíquido se define como el número de periodos a partir del congelado en el que algunas decisiones se fijan y otras pueden variar. Por último, el periodo liquido como aquellos periodos dentro del horizonte rodante en donde se pueden re-planear todas las decisiones.

Lo que se persigue con la determinación de los periodos congelados y semilíquido es buscar la estabilidad, el nivel de servicio adecuado y mínimo coste del sistema al momento de la re-planeación.

3.2.2. EFECTOS DEL PLAN DE PRODUCCIÓN EN LOS NIVELES DE INVENTARIO

Los inventarios son bienes tangibles que se tienen a disposición para su uso posterior, sea para su comercialización o posterior utilización en los procesos productivos o en la prestación de servicios.

Los niveles de inventario están determinados en el plan de producción agregado, los cuales influyen en las necesidades de capacidad de la empresa (Santos, 2008). En el caso que se presente estacionalidad de la demanda en un corto periodo y una baja demanda el resto del año, como se representa en la Fig. .

Fig. Gráfica Demanda vs Capacidad

Por lo cual se hace evidente la necesidad de generar inventario, con el objetivo de responder ante las demandas de los clientes, y se hace necesario implementar una buena gestión del inventario a fin de cumplir con los objetivos del plan de producción: responder a las necesidades del cliente, tanto en cantidad como en plazos de entrega, al menor costo posible (Santos, 2008).

Una de las alternativas para el manejo del inventario es tercerizar dicha responsabilidad, es decir, almacenar el inventario en una bodega externa a la compañía, ya sea por restricciones de capacidad o económicas.

Hasta hace un tiempo esta práctica era considerada como un medio para reducir los costos; sin embargo en los últimos años ha demostrado ser una herramienta útil para el crecimiento de las empresas por razones tales como (Silva, 2006):

- 1) Es más económico. Reducción y/o control del gasto de operación.
- 2) Concentración de los negocios y disposición más apropiada de los fondos de capital debido a la reducción o no uso de los mismos en funciones no relacionadas con la razón de ser de la compañía.
- 3) Acceso al dinero efectivo. Se puede incluir la transferencia de los activos del cliente al proveedor.
- 4) Manejo más fácil de las funciones difíciles o que están fuera de control.
- 5) Disposición de personal altamente capacitado.
- 6) Mayor eficiencia.

Todo esto permite a la empresa enfocarse ampliamente en asuntos empresariales, tener acceso a capacidades y materiales de clase mundial, acelerar los beneficios de la reingeniería, compartir riesgos y destinar recursos para otros propósitos.

3.2.3. MOTIVACIONES PARA MANTENER INVENTARIOS

- Economías en Escala: En muchas industrias, cuando los costos de alistamiento de un proceso es elevado, usualmente economizan costos al producir una cantidad grande de artículos en cada campaña y almacenándolos para su posterior uso, a fin de dividir los costos fijos de alistamiento entre una mayor cantidad de productos.
- Incertidumbre: el no tener conocimiento exacto de la demanda, obliga a las empresas a mantener inventario para poder responder ante las variaciones inesperadas de la demanda.
- Demandas Estacionarias: muchas empresas presentan altos picos de demanda durante estaciones específicas, donde la capacidad de producción no es suficiente para suplirla, por lo tanto, se produce en exceso en los periodos de baja demanda y se almacena a fin de generar un colchón que absorba el exceso de demanda en los periodos picos de demanda.

3.2.4. COSTOS CONCERNIENTES AL INVENTARIO

- Costo de mantener inventario: se define como la suma de todos los costos proporcionales a la cantidad de inventario disponible en cualquier momento, tales como el costo de suministrar espacio físico, seguridad de almacenes, impuestos, seguros, etc.

- Costo de Alistamiento: se define como el costo de preparar la línea de producción para cierto producto específico, independientemente de la cantidad a producir. Normalmente se calcula en base a las horas necesarias multiplicadas por el costo de horas/hombre y horas/maquina implicadas.
- Costo de penalización: es el costo de carecer de inventario suficiente cuando la demanda se presente, siendo este el más difícil de calcular, debido al costo intangible de la pérdida de reputación frente al cliente, además de cualquier penalización que se haya suscrito previamente

3.3. CONGELAMIENTO DE LAS DECISIONES

En la rutina diaria en las organizaciones es frecuente congelar cierto tipo de decisiones, es decir, tomar una decisión que no podrá ser modificada dentro cierto periodo de tiempo, por ejemplo el tamaño de la nomina, capacidad de producción, rutas de vehículos etc. Todos estos son ejemplos de decisiones que no pueden ser modificadas día a día.

Algo similar sucede con el plan de producción, se congelan n periodos de tiempo a fin de garantizar la disponibilidad de materias primas y equipos necesarios para la operación, además entre mayor sea la proporción congelada del MPS, menor será el nerviosismo del sistema, pero dependiendo de las condiciones de la demanda y la precisión del pronóstico, el nivel de servicio estará afectado. Esto se debe a la menor flexibilidad de un programa de producción congelado.

Sridharan, Berry, and Udayabhanu (1987), examinaron los efectos de los diferentes métodos de congelamiento del MPS, comparándolo con los costos de producción y mantenimiento de inventario. Campbell (1992) examinó la relación entre las longitudes de la sección congelada y los métodos de inventario de seguridad en horizontes rodantes mediante la programación en intervalo fijo. Él

concluyó que la cuestión de estabilidad del programa estaba relacionada con el tema de la planificación de largo horizonte.

Zhao y Lee desarrollaron la investigación de Sridharan de sistemas de un solo nivel para los sistemas de planificación multi-nivel (Zhao & Lee, 1993; Zhao, Goodale, y Lee, 1995). También investigaron el impacto de los parámetros de congelación del MPS en el costo total, la inestabilidad de la programación y nivel de servicio de sistemas de un solo nivel de varios elementos con una restricción de nivel único recurso en virtud de la demanda determinista (Zhao, Xie, y Jiang, 2001) y la demanda estocástica (Xie, Zhao, y Lee, 2003).

(Lin et al, 1994) estudiaron Los efectos de los factores ambientales en el diseño de los sistemas de programación de la producción principal, donde examinaron el impacto de los factores ambientales en el diseño de los sistemas de MPS. Además, su análisis mostró que, aun cuando los costos de MPS cambio son altas, intervalos mayores de congelamiento y re-planificaciones más frecuentes pueden ser rentables.

Los autores Tang & GrubbstroKm estudiaron la planificación y re planificación del programa maestro de producción en condiciones de incertidumbre de la demanda (Tang & GrubbstroKm, 2000) y propusieron procedimientos para resolver el intervalo de re planificación óptimo y para estimar el intervalo de congelamiento.

Meixell realizo un estudio de exploración del impacto de los costos de instalación, estandarización, y la capacidad en la estabilidad de la programación (Meixell, 2005), quien hallo que el costo de preparación, la estructura del producto, y la capacidad de diseño tienen una influencia significativa en la estabilidad de programación para las cadenas de suministro.

Es importante tener en cuenta que la calidad de los pronósticos influye sobre el tamaño óptimo del periodo de congelamiento y sobre el horizonte de planificación. Un largo periodo de congelación incrementa la necesidad de un inventario de

seguridad más grande y costes más altos en los tamaños de lote. Congelar el MPS es el mejor camino para reducir la inestabilidad y reducir los costes totales. Por ello hay que calcularlos bien (Meixell, 2005).

El enfoque de la congelación del MPS, sobre todo en el tiempo de entrega acumulado de un producto, se utiliza con frecuencia en la práctica, y se describe en Berry et al. (1979), y al Vollmann et al. (1984). En los experimentos de simulación reportados por Minifie y Heard (1985), se encontró que el parámetro de congelación del MPS era un factor importante, además del tamaño de lote. Kropp, Carlson y Jucker (1983) y Carlson, Jucker, y Kropp (1979) modificaron varios procedimientos estándar de tamaño del lote utilizados en un entorno de horizonte rodante que incorpore el costo de cambiar el MPS, aliviando así el nerviosismo al considerar su efecto económico.

Sridharan, Berry, and Udayabhanu (1987) demostraron que la congelación de una pequeña parte de la MPS, hasta un 50% del horizonte de planificación, tiene un efecto relativamente pequeño en los costes. Sin embargo, cuando la parte congelada del MPS supera el 50% del horizonte de planificación, el impacto en el costo puede ser considerable, dependiendo del procedimiento de congelación utilizado. Cuando los intervalos de tiempo congelación se utilizan, el método convencional de la congelación del MPS en un período de base es relativamente más costoso que la alternativa basada en órdenes.

La congelación de los MPS puede limitar los cambios del MPS y puede producir un aumento en los costos de producción e inventario (Sridharan, Berry, and Udayabhanu, 1987).

3.3.1. EVALUACIÓN DEL CONGELAMIENTO DE DECISIONES

Existen varios parámetros para medir los efectos del congelamiento de decisiones en un sistema, a continuación se presentan los más comunes

- Nerviosismo: Cuando las condiciones del ambiente sufren cambios no previstos al momento de la planificación, o se tiene acceso a información no disponible al momento de la planificación, como por ejemplo pronósticos actualizados, y el plan de producción se modifica se presenta un fenómeno llamado *nerviosismo del sistema*, el cual es definido, de manera general, como inestabilidad en las órdenes planeadas, la reprogramación en exceso de ordenes abiertas, o el efecto negativo de la reprogramación de ordenes abiertas. El termino fue planteado por Steele en 1975 (Steele, 1975), quien propuso un modelo de programación lote por lote a fin de mitigar los efectos del nerviosismo.
- Niveles de servicio: En definición el nivel de servicio de inventario es el porcentaje de clientes que hacen un pedido para ser servidos en plazos habituales (no se incluyen las excepciones) y que pueden completar la compra al primer intento.

Niveles altos de inventario no necesariamente resultan en un mejor servicio al cliente, pero seguramente tendrán impacto en las utilidades. Por otra parte, niveles bajos de inventario, particularmente si no se tiene un control eficiente del mismo, pueden resultar en faltantes de producto, con fuertes repercusiones en el servicio al cliente.

- Costo Total: se define como el costo total incurridos en un periodo determinado de tiempo. En este caso, se calcula como la suma del costo de producción y el costo de inventarios.
-

3.4. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

Unas de las técnicas más utilizadas en la literatura para estudiar el efecto del congelado de decisiones es el Diseño de Experimentos (DOE, por sus siglas en ingles). Diseñar un experimento significa planear un experimento de modo que reúna la [información](#) pertinente al problema bajo [investigación](#). El diseño de un experimento es la secuencia completa de pasos tomados de antemano para asegurar que los [datos](#) apropiados se obtendrán de modo que permitan un [análisis objetivo](#) que conduzca a deducciones válidas con respecto al problema establecido.

3.4.1. OBJETIVOS:

Los objetivos de un diseño de experimentos son (Hurtado, 2007):

1. Brindar la máxima cantidad posible de información relacionada al problema en cuestión.
2. Proporcionar métodos que permitan obtener la mayor cantidad de información valida acerca de una investigación, teniendo en cuenta el factor costo y el uso adecuado del material disponible mediante métodos que permitan disminuir el error experimental.
3. Identificar las principales causas de variación de la característica a mejorar.
4. Encontrar las condiciones experimentales en las cuales la característica evaluada consigue valores extremos.
5. Obtener modelos estadístico-matemáticos que permitan predecir futuras respuestas de la variable.

3.4.2. PRINCIPIOS BÁSICOS DEL DOE

Existen ciertos principios básicos que se deben cumplir (HURTADO, 2007):

- **Repetición:** repetir el experimento básico, esto es deseable porque proporciona una mejor estimación del error experimental, además permite obtener una estimación más precisa del efecto de cualquier factor.

- **Aleatorización:** Asignación al azar de tratamiento a las unidades experimentales. Frecuentemente se asume en los diversos modelos estadísticos del DOE que los errores están distribuidos independientemente, la aleatorización es la que valida esta suposición.
- **Control Local:** Cantidad de balanceo, bloqueo y agrupamiento de las unidades experimentales que se emplean en el diseño estadístico de un experimento.

3.4.3. SUPUESTOS ACERCA DEL MODELO ESTADÍSTICO

Los supuestos necesarios en el modelo estadístico son:

- Linealidad: la relación existente entre los factores o componentes del modelo estadístico debe ser del tipo lineal.
- Normalidad: los valores resultado del experimento provienen de una distribución de probabilidad Normal con media μ y variancia σ^2
- Independencia: los resultados observados en el experimento son independientes entre sí.
- Variancias homogéneas: las diversas poblaciones generadas por la aplicación de dos o más tratamientos tienen variancias homogéneas

Con el diseño de experimentos es posible estudiar los efectos de diversos factores dentro sobre un sistema para estudiar sus interacciones y posteriormente lograr mejores resultados.

3.4.4. PRUEBA ANOVA

El nombre de análisis de varianza (ANOVA) viene del hecho de que se utilizan cocientes de varianzas para probar la hipótesis de igualdad de medias. La idea general de esta técnica es separar la variación total en dos partes: la variabilidad debida a los tratamientos y la debida al error. Cuando la primera predomina claramente sobre la segunda es cuando se concluye que los tratamientos tienen efecto, es decir, las medias son diferentes.

3.4.5. APLICACIONES DEL DISEÑO EXPERIMENTOS PARA ESTUDIAR LOS EFECTOS DEL IMPACTO DE LOS PARÁMETROS DE RE PLANEACIÓN

Dentro de la investigación preliminar desarrollada, se han estudiado algunos artículos de gran relevancia en el tema:

3.4.5.1. IMPACTO DEL TAMAÑO DEL LOTE

En (*Zhao, K. LAM, 1997*) se estudia el impacto de la selección de la regla el tamaño del lote en la selección de los parámetros de congelación MPS en horizontes de tiempo rodante bajo demanda determinista. Se desarrolla un modelo para simular el MPS y las operaciones de planificación de materiales. Los resultados muestran que la selección de las normas de tamaño de lote influye significativamente en la selección de los parámetros de congelación MPS.

En este trabajo, se utilizó un ANOVA para confirmar dos hipótesis, mediante el uso de un diseño de experimentos de dos factores.

3.4.5.2. EL IMPACTO DE LA REPOSICIÓN Y EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN:

En (*KELEPOURIS T, ET AL., 2007*) se estudia cómo afectan los parámetros de reposición en la amplificación de la variabilidad de la demanda, las tasas de reposición de los productos y los niveles de inventario en la cadena de suministro. Así mismo, se analiza como el hecho de compartir información entre los diferentes eslabones de la cadena afecta y ayuda a reducir las variaciones en las órdenes y los niveles de inventarios en los niveles superiores de la cadena de suministro. Se utilizaron datos de demanda reales durante la elaboración del estudio.

3.4.5.3. CONGELACIÓN DEL PROGRAMA MAESTRO DE PRODUCCIÓN EN HORIZONTES RODANTE

En (Sridharan, Berry, and Udayabhanu, 1987) se estudio la estabilidad del Plan Maestro de Producción (MPS). En ese trabajo se determinó que un método para lograr la estabilidad es la congelación de una parte o la totalidad del MPS. Si bien la congelación de los MPS puede limitar el número de cambios del MPS, también puede producir un aumento en los costos de producción e inventario. Este trabajo analiza tres variables de decisión en congelamiento del MPS: el método de congelación, congelación de la longitud intervalo, y la longitud del horizonte de planificación.

3.4.5.4. IMPACTO DE LOS COSTOS DE PREPARACIÓN, ESTANDARIZACIÓN Y CAPACIDAD EN LA ESTABILIDAD DEL MPS

El documento (Meixell, 2005) examina el efecto de costes de preparación, componentes comunes y la capacidad de la estabilidad en el programa dentro de las cadenas de suministro. En particular, este trabajo se centra en la situación en la que los cambios de programación en un horizonte rodante, donde transmitir información son importantes para el éxito de la coordinación en la cadena de suministro. Un modelo de gran tamaño se despliega dentro de la estructura de un experimento diseñado para evaluar los efectos de estos factores de diseño en la estabilidad de lo previsto. Los resultados sugieren que el diseño de componentes comunes en los productos, evitando la tendencia a las órdenes por lotes de varios clientes en órdenes de fabricación menores, y proporcionar un exceso de capacidad, tiene un efecto estabilizador en los horarios de laminación.

3.4.5.5. LOS EFECTOS DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN EL DISEÑO DE SISTEMAS MPS

En (Lin et al, 1994), se estudian los efectos de los factores ambientales como los costos de producción, *Bill of Materials*, *Lead Time*, el costo de modificar el MPS entre otros, para un producto en un entorno incierto. Los resultados también muestran que la magnitud de los errores de pronóstico y la estructura de costos

juegan un papel relativamente menor en la elección de los periodos de congelamiento y re planificación. También muestran que incluso cuando los costos de cambio del MPS son altos, intervalos mayores de congelamiento y re planificación más frecuente pueden ser rentables.

3.4.5.6. PLANIFICACIÓN Y RE PLANIFICACIÓN DEL MPS EN AMBIENTES DE INCERTIDUMBRE DE LA DEMANDA

El MPS es esencial para mantener los niveles de servicio al cliente y la estabilización de planificación de la producción en la planificación de necesidades (MRP). Tradicionalmente, un MPS se deriva de una previsión de la demanda y el plan de producción global, pero el costo asociado para cubrir la incertidumbre de la demanda es por lo general no se considera.

En (Tang, Grubbstrom, 2002) primero se investiga la posibilidad de establecer un método para la planificación de la MPS bajo demanda estocástica. En segundo lugar, está dirigida a evaluar el valor de las acciones de nueva planificación. Por último, proporciona un modelo para estimar los parámetros MPS apropiadas tales como la longitud del intervalo de nueva planificación y de la longitud del intervalo de congelar el plan.

3.4.5.7. MRP CON RESTRICCIONES FLEXIBLES

(Mula et al, 2006) ofrece un nuevo modelo de programación lineal para la planificación a medio plazo, la producción de una capacidad limitada MRP, multi-producto, entorno de la fabricación de varios niveles y entre distintos períodos. Entonces, este modelo se transforma en tres modelos difusos con la flexibilidad en la función objetivo, en la demanda del mercado y en la capacidad disponible de los recursos. El objetivo principal es determinar el plan maestro de producción, el MRP para cada componente de prima en cada período, los niveles de existencias, la demanda de retraso, y los niveles de capacidad de uso en un horizonte de planificación dado, de manera que se proteja contra la incertidumbre.

4. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA GAVIOTA 1.0

4.1. GAVIOTA 1.0

GAVIOTA 1.0 (Coonado-Hernandez, 2010a) es una herramienta para generar planes adaptativos de producción y almacenes en entornos de incertidumbre y estacionalidad en la demanda. Se basa en modelos de programación matemática híbrida con simulación de Montecarlo en el entorno del horizonte rodante. GAVIOTA 1.0 fue creada por (Coronado-Hernández, 2010) siguiendo una metodología que tiene etapas secuenciales como se puede observar en la Fig. . Esta metodología se basa en la planificación jerárquica de la producción, la cual se describe como un procedimiento para dividir el problema de la planificación de la producción en varios niveles o etapas. En la primera etapa se desagrega la demanda, que es entrada a un modelo flexible de planificación anual para moldear la estacionalidad a través de stocks objetivos semanales expresados en forma de coberturas que serán entradas a la etapa tres. En la tercera etapa se simula sobre un marco rodante para que posteriormente se elaboren los presupuestos. A continuación se explica con más detalle la Fig. .

La primera etapa consiste en utilizar modelos de desagregación de la demanda para convertir demandas anuales dadas en meses, a demandas anuales en semanales sin perder las propiedades estadísticas de la serie temporal original. Para ello se adoptan procesos de desagregación estocástica en hidrología.

La segunda etapa consiste en determinar coberturas semanales con el fin de describir y modelar la estacionalidad de la demanda para darle a los planes maestros una visión del largo plazo, estas coberturas se determinan a través de un modelo de planificación anual flexible bajo el enfoque de programación lineal difusa (Fuzzy Sets), bajo el supuesto fundamental de que existe incertidumbre en los parámetros de demanda y de la función de costes. En (Coronado-Hernández,

2011) se presenta este modelo, el cual hace el papel de planificación agregada. Los modelos de planificación agregada de la producción son los más apropiados para modelar la estacionalidad (Coronado-Hernández, 2011).

La tercera etapa consiste en planificar a corto plazo bajo el supuesto que la demanda está compuesta por pedidos fijos en la primera semana y que existe un buen pronóstico del resto de periodos. En la vida real, cuando existe incertidumbre en la demanda los planes deben actualizarse. De esta manera, con las coberturas semanales calculadas en la etapa dos se tiene una visión en el corto plazo de lo que sucederá el largo plazo, considerando a su vez la estacionalidad de la demanda: se moldea lo que se espera.

Fig. METODOLOGÍA DE SIMULACIÓN DE GAVIOTA 1.0

4.1.1. SIMULACIÓN EN HORIZONTE RODANTE

La tercera etapa del método propuesto correspondiente a la simulación de un modelo trimestral equivalente a un modelo para elaborar planes maestros de producción (MPS) con el fin de generar diferentes escenarios que entraran a formar el presupuesto de producción y almacenes. Los resultados obtenidos del modelo de optimización en las decisiones que se implementen dentro de la simulación en el horizonte rodante serán los valores que se utilizarán para la elaboración del plan de producción y almacenes. En cada ejecución del horizonte rodante se lanza un modelo matemático dinámico de optimización para realizar un plan maestro de producción. Este modelo de optimización sigue la heurística del horizonte rodante. De los periodos que se implementan en la simulación dentro de cada horizonte rodante de planificación, serán los valores que serán de entrada para tener un conjunto de escenarios que harán parte del plan de producción y almacenes.

$$Lb_h = \{La, \dots, Lb\}$$

El modelo representa el problema de planeación en la ejecución. De esta manera se define el conjunto de periodos de forma dinámica, donde sobre. Los parámetros y se van actualizando iterativamente. Se pretende absorber la incertidumbre asociada a la demanda cada vez que se realice una predicción dentro de un horizonte de planificación para tener datos más precisos en el corto plazo. De esta manera, simular la realidad.

Los principales objetivos de este modelo son:

- Determinar los niveles de producción por producto y periodo.
- Determinar el calendario laboral por semana en tiempo normal y extras
- Minimizar una función de costes satisfaciendo un conjunto de restricciones
- ⊗ • Las salidas básicas del modelo en cada ejecución son:
 - El plan maestro de producción.
 - Requerimientos de materias primas para cada periodo
 - Niveles de stock para determinar cuánto se debe contratar de almacenamiento externo dado el caso.
 - Retrasos de los inventarios.
 - Planificación de turnos de trabajo.

Entre los diferentes parámetros asociados al horizonte rodante de planificación que van cambiando periódicamente se encuentran: la demanda, los inventarios iniciales y los retrasos iniciales. La demanda es un valor que va a ir cambiando dentro del horizonte rodante en la medida que se dispone de información actualizada; se asume que para el primer periodo es conocida dentro del congelado. Las demandas de cada producto se generan como utilizando

pronóstico y el software utilizando distribuciones de probabilidad y teniendo en cuenta el coeficiente de variación genera las demandas aleatorias basadas en el pronóstico original; es decir, la generación de la demanda se basa en su error. EN la Tabla se muestran las variables y parámetros del modelo.

$(\omega+1)$

Los inventarios iniciales se deben recalculan en cada ejecución del modelo en la medida que se ejecuta la simulación. Como el modelo es de corto plazo, y las demandas son dinámicas y dado que las demandas pueden ser mayores a lo esperado en el pronóstico original el cual es desagregado, es posible que existan faltantes dado y eso conlleva añadir al modelo una variable para cuantificar las faltantes asociadas a la variable , con un coste en la función objetiva de . De una ejecución a otra después del congelado se deben recalculan las faltantes iniciales que será parámetros de entrada para la siguiente ejecución del modelo en la simulación.

Tabla PARÁMETROS Y VARIABLES DEL MODELO

| Índices | |
|---|--|
| $i \in I$ | Índice del número de productos que pertenece al conjunto I |
| $k \in K$ | Índice de la línea de fabricación del conjunto K |
| $t \in T$ | Índice de periodos del conjunto T |
| $r \in R$ | Índice de materias primas del conjunto R |
| Parámetros | |
| D_{it} | w_{ik} |
| Demanda del producto i en el periodo t (Pallet/semanas) | Matriz de asignación binaria del producto i en la línea de fabricación k |

| | | | |
|------------------|---|------------------|---|
| H_{it} | Coste de Almacenamiento interno del producto i en el periodo t (Pallet/semana) | INI_i | Stock inicial del producto i (Pallet) |
| $H_{e_{it}}$ | Coste de Almacenamiento externo del producto i en el periodo t (Pallet/semana) | PEN_{it} | Penalidad por cambio del número de turnos de un periodo a otro |
| TP_k | Ritmo de Fabricación del la línea de fabricación k (Pallet/turno) | LZ_{it} | Numero de turnos normales máximos en la línea k en el periodo t (Turnos/Días) |
| LW_{kt} | Numero de turnos extras máximos en la línea k en el periodo t (Turnos/Semana) | $UMAX$ | Capacidad máxima de almacenamiento interno de producto terminado (Pallet) |
| $DIAS_t$ | Número de días que tiene la semana t (Días) | TU_{kt} | Numero de turnos fijos de la línea k en el período t (Turnos) |
| C_{ir} | Consumo de materia prima del producto i de la materia prima r (Unidades/pallet) | | |
| Variables | | | |
| y_{ikt} | Numero de pallet producidos del producto i en la línea k en el periodo t (Pallet) | p_{it} | Numero de pallet producidos del producto i en el periodo t (Pallet) |
| | Stock total del producto i en el periodo t (Pallet) | | Stock a enviar a almacenamiento externo del producto i en el periodo t (Pallet) |
| \bar{m}_i | Stock a almacenar externamente en el periodo t (Pallet) | m_{it} | Stock a almacenar internamente en el periodo t (Pallet) |
| | Turnos normales a asignar en un día para la línea k en el periodo t (Turnos) | | Turnos extras a asignar para la línea k para el periodo t (Turnos) |
| \bar{n}_{kt}^+ | Turnos de más que se añaden a una línea k en t respecto a $t-1$ | \bar{n}_{kt}^- | Turnos de menos que se quitan a una línea k en t respecto a $t-1$ |
| | Requerimiento de materia prima r para el periodo t (Unidades) | | |

$$C_{it} \in [0, 0,1]$$

()

Aunque este modelo es de corto plazo, es provisto de una visión del largo plazo por los niveles de stock objetivos que son calculados en la etapa 2. Estos niveles de stocks se pueden cumplir dependiendo del grado de pertenencia de la demanda desagregada con la que se va actualizando en la medida que se conoce nueva información. Así mismo, con este parámetro se tiene cuenta la estacionalidad de la demanda. En ese sentido, se asocia la variable al cumplimiento de los niveles de . Cuando no se cumplen los niveles esperados, y se satisfacen plenamente. Esta variable se incluye en la función objetiva con un coste de oportunidad por el no cumplimiento de los niveles de cobertura.

4.2. Dinámica del modelo de simulación

M^e

Un marco general del proceso de simulación se muestra en la Fig. . En esa figura, se hace coincidir el horizonte de simulación con el horizonte de planificación . En cada paso de la simulación se recalculan los límites del conjunto , se genera la demanda, se actualizan los inventarios y faltantes iniciales, se optimiza el problema , y se fijan las restricciones. Este proceso, se repite hasta que complete el total de iteraciones en el horizonte rodantes.

La Fig. , se muestra cómo se va ejecutando el horizonte rodante dentro de un horizonte de simulación que coincide con el horizonte anual. En la figura se observa: 1) la lógica de funcionamiento del horizonte rodante; 2) las zonas en un periodo de planificación; 3) las decisiones que se implementan para formar los escenarios en el presupuesto de producción y almacenes.

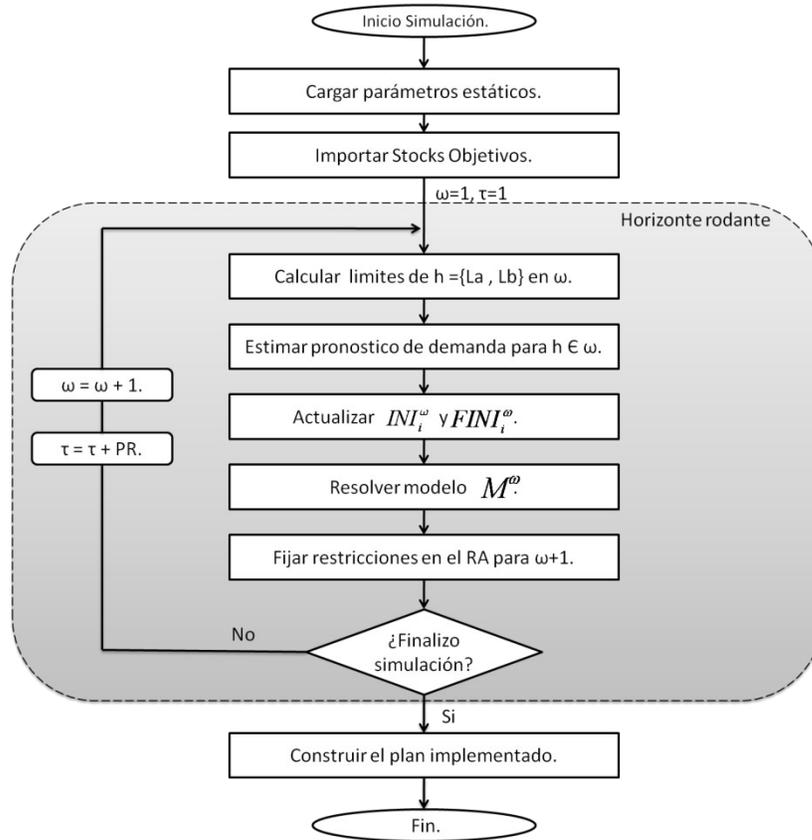


Fig. Marco de la simulación en Horizonte Rodante

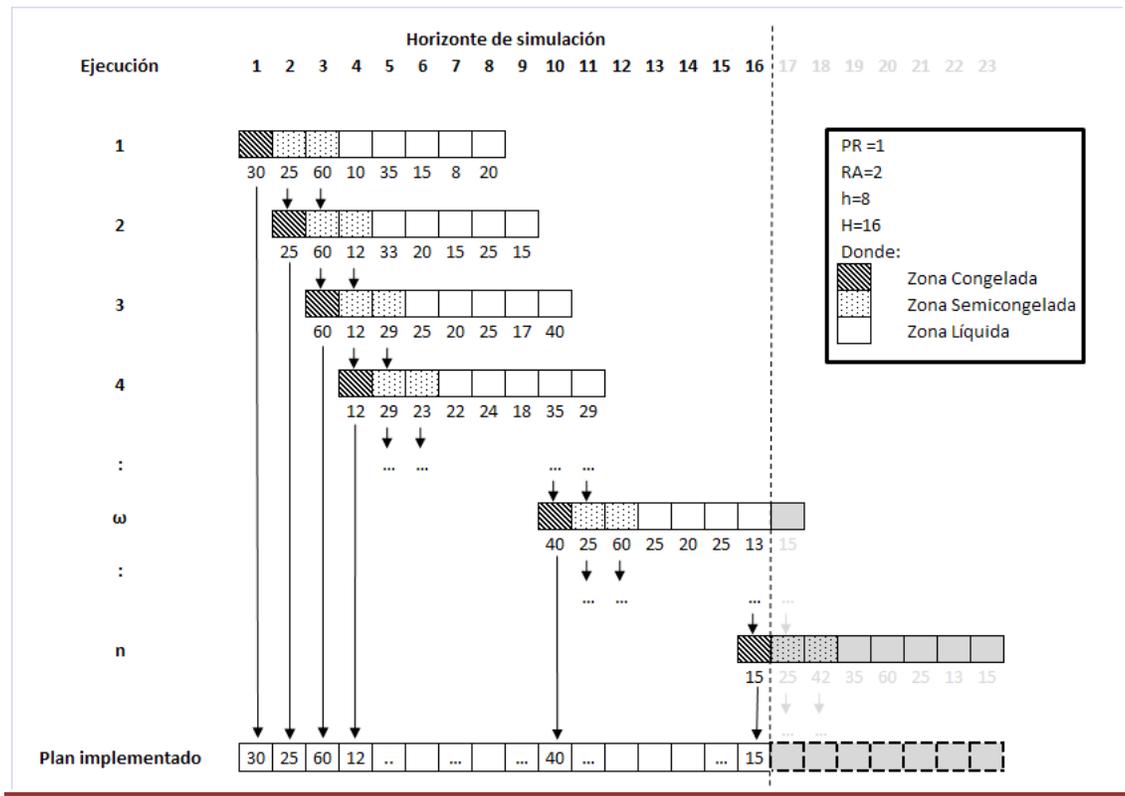


Fig. Ilustración de como se construye un plan en RH

Para terminar GAVIOTA 1.0 se puede concluir que la herramienta realiza una simulación/optimización en la que se resuelve el problema en tres etapas que siguen de forma secuencial. La primera etapa consiste en desagregar la demanda. La segunda etapa en resolver un problema de planificación anual basado en un modelo Fuzzy con el fin de calcular stocks objetivos semanales. Y una tercera etapa que consiste en simular la realidad sobre un marco rodante un modelo trimestral en semanas con el fin generar presupuestos realistas y adaptables a las nuevas condiciones del mercado.

5. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

5.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el diseño del experimento para determinar cómo impactan los parámetros del horizonte rodante sobre el almacenamiento externo. Para el desarrollo de las simulaciones se utilizó el programa GAVIOTA 1.0, el cual es una herramienta para generar planes adaptativos de producción y almacenes en entornos de incertidumbre y estacionalidad en la demanda. Se basa en modelos de programación matemática híbrida con simulación de Montecarlo en el entorno del horizonte rodante.

GAVIOTA se alimenta de diversos parámetros, entre ellos, la demanda de productos, capacidad de producción, y capacidad de almacenamiento. Para la experimentación, la Universidad Tecnológica de Bolívar facilitó 10 equipos DELL OPTIPLEX 740, con una capacidad de memoria de 4 GB y procesadores AMD Phenom™ 9600B Quad-Core Processor 2.3 GHz, localizados en el Laboratorio de Logística.

Para la experimentación se utilizaron los datos de una empresa española dedicada a fabricar marcas de distribución y co-packing. Se encuentra especializada en diferentes tipos de cerveza y una amplia variedad de refrescos con/sin gas y agua. Debido al comportamiento del clima propio de las latitudes, se presenta el fenómeno de la estacionalidad, lo cual provoca una baja demanda en las estaciones frías, como el invierno, y un incremento de la demanda a medida que se acercan las estaciones calurosas.

5.2. BREVE DESCRIPCIÓN DEL CASO

La aplicación se realizó en una empresa dedicada a la fabricación de marcas de distribución y co-packing, especializada en diferentes tipos de cerveza, agua y una amplia variedad de refrescos con y sin gas. La empresa maneja aproximadamente 140 referencias, siete líneas de fabricación y un horizonte de planificación de 52 semanas. Las materias primas requeridas para la fabricación de los productos son comunes dependiendo del tipo de producto. Existen diferentes líneas de fabricación en las que uno o más productos pueden ser procesados dependiendo del grado de compatibilidad producto-línea y de la compatibilidad producto-producto para minimizar los tiempos de alistamiento de las líneas.

Cada una de estas líneas de fabricación tiene una capacidad limitada la cual depende de su operatividad diaria en función del número de turnos de trabajos. Cada turno de trabajo comprende una jornada de ocho horas y como máximo en cada día son posibles 3 turnos de trabajos dentro de las jornadas laborales normales en el número de días hábiles del calendario laboral. Como existe capacidad de producción limitada y existe un almacén de producto terminado limitado, en épocas de preparación previa para enfrentar la alta demanda, se recurre a almacenar los productos en almacenes externos dado que la capacidad interna ha llegado a su límite, lo cual incurre en mayores costos por alquileres de espacio y en transporte de los productos a los operadores externos.

En base a los datos de esta empresa, utilizando la herramienta GAVIOTA se va a experimentar cómo impactan los parámetros de planificación sobre el almacenamiento externo.

5.3. SELECCIÓN DE LOS FACTORES

Utilizando un diseño factorial se desea evaluar los efectos de las variables seleccionadas: el uso o no de Stocks Objetivos (SO), el tamaño del Periodo de Planificación (H), Periodo de Re-planificación (RP) y la Incertidumbre en la Demanda (ID), esta última es una variable aleatoria, de la cual no se tiene control

sobre su valor preciso, a fin de representar la variabilidad en el proceso. Cada réplica del experimento es el resultado del promedio de 3 escenarios similares, a fin de contrarrestar el efecto provocado por la variable aleatoria ID.

Estos factores fueron escogidos, al revisar investigaciones previas, como son (Zhao, K. LAM, 1997; Kelepouris T, et al., 2007; Sridharan, Berry, and Udayabhanu, 1987; Meixell, 2005; Lin et al, 1994; Tang, Grubbstrom, 2002; Mula et al, 2006). A diferencia de los trabajos mencionados, en este trabajo se estudia el impacto de los factores sobre el inventario externo. Los horizontes de planificación de un plan maestro de producción no suelen ser superiores a 3 meses (Santos, 2008), por lo cual se asignaron valores de 4 y 10 semanas a dicho parámetro. Los factores del modelo se encuentran en la Tabla , con los valores asignados a cada uno.

Tabla . Niveles de factores

| | Nivel Bajo | Nivel Alto |
|----------------------------------|------------|------------|
| Stock Objetivo (SO) | SIN | CON |
| Horizonte de Planificación (H) | 4 | 10 |
| Periodo de Re-Planificación (RP) | 1 | 3 |
| Incertidumbre en la Demanda (ID) | Baja | Alta |

La matriz del diseño factorial 2^4 , reportada en la Tabla posee 16 filas, correspondientes a los tratamientos y 4 columnas, que representan las variables a estudiar.

Tabla . Matriz del Diseño Factorial 2^4

| SO | H | RP | ID |
|-----|----|----|------|
| Con | 4 | 1 | Baja |
| Con | 4 | 1 | Alta |
| Con | 4 | 3 | Baja |
| Con | 4 | 3 | Alta |
| Con | 10 | 1 | Baja |
| Con | 10 | 1 | Alta |
| Con | 10 | 3 | Baja |
| Con | 10 | 3 | Alta |
| Sin | 4 | 1 | Baja |
| Sin | 4 | 1 | Alta |

| | | | |
|-----|----|---|------|
| Sin | 4 | 3 | Baja |
| Sin | 4 | 3 | Alta |
| Sin | 10 | 1 | Baja |
| Sin | 10 | 1 | Alta |
| Sin | 10 | 3 | Baja |
| Sin | 10 | 3 | Alta |

5.4. CALCULO DEL TAMAÑO DE MUESTRA

Para garantizar la validez estadística de las pruebas, se llevó a cabo una premuestra de un diseño factorial 2^4 completo de dos réplicas y se realizó un análisis de varianza, a fin de calcular el número de réplicas necesarias en el estudio, con la fórmula que se muestra en la Ecuación . La Ecuación se obtiene de despejar la fórmula para hallar el valor LSD (Ecuación). El CM_E obtenido del análisis de varianza fue utilizado para el cálculo del tamaño de la muestra.

$$n = \frac{2 \left(t_{\alpha/2, N-k} \right)^2 CM_E}{LSD^2}$$

$$LSD = t_{\alpha/2, N-k} \sqrt{2CM_E / n}$$

Donde

| | | |
|------------|-------------------------------------|---------|
| $\alpha =$ | Nivel de significancia | = 5% |
| $k =$ | Tratamientos | = 16 |
| $n =$ | Numero de réplicas de la premuestra | = 2 |
| $N =$ | el resultado de $n \cdot k$ | = 32 |
| $CM_E =$ | Cuadrado Medio del Error | = 3,75 |
| $LSD =$ | Diferencia Mínima Significativa | = 4,788 |

*
MERGE
FORMAT
(
*
MERGE
FORMAT
(

()

Con estos parámetros, la Ecuación * MERGEFORMAT () quedo de la siguiente manera

$$n = \frac{2(2.47)^2 3.75^3}{4.78^2} = 7.5 \cong 8$$

Por lo tanto, cada tratamiento se replicó un total de 8 veces. La variable de respuesta a evaluar fueron el número de pallets almacenadas en el operador externo, representadas como Alm_Externo, como medida del desempeño de los parámetros estudiados.

5.5. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Se realizaron 8 replicas a cada uno de los 16 tratamientos, para un total de 128 simulaciones. Los resultados de los experimentos se muestran en la Tabla y Tabla . En la Tabla se muestran los resultados de las simulaciones cuando el factor SO es Alto (Con uso de Stock Objetivo) y en la Tabla están los resultados cuando el factor SO es Bajo (Sin uso de Stock Objetivo). En la parte superior se observan los factores y en la parte inferior los resultados de las replicas.

Tabla . Resultado de los Experimentos con uso de Stock Objetivo

| F | SO | CON | | | | | | | |
|---|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | H | 4 | 4 | 4 | 4 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | RP | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| R | CV | Baja | Alta | Baja | Alta | Baja | Alta | Baja | Alta |
| | 1 | 1090 | 1287 | 1092 | 527 | 1104 | 3152 | 1104 | 2755 |
| | 2 | 1094 | 1411 | 1091 | 344 | 1081 | 3170 | 1103 | 2138 |
| | 3 | 1098 | 1891 | 1081 | 1768 | 1097 | 4267 | 1104 | 2298 |
| | 4 | 1109 | 1770 | 1089 | 880 | 1102 | 2103 | 1093 | 2537 |
| | 5 | 1084 | 1360 | 1098 | 851 | 1102 | 2478 | 1100 | 2741 |
| | 6 | 1098 | 1619 | 1082 | 565 | 1090 | 3282 | 1092 | 2980 |
| | 7 | 1103 | 1742 | 1088 | 914 | 1097 | 2563 | 1086 | 2088 |
| | 8 | 1106 | 2021 | 1095 | 1127 | 1103 | 2931 | 1097 | 2410 |

Este conjunto de datos produjo 80.000 variables x 80.000 restricciones concernientes al plan agregado de la segunda etapa y 14.000 variables y 15.000

restricciones por modelo del plan maestro ejecutado en horizonte rodante en la tercera etapa. Dependiendo de los parámetros de cada escenario la simulación tomo entre (35 min y 50 min) por ejecución, lo cual requirió más de 100 horas de cómputo para el total de los experimentos.

Tabla Resultado de los Experimentos sin uso de Stock Objetivo

| FA | SO | SIN | | | | | | | |
|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | H | 4 | 4 | 4 | 4 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| CV | RP | 1 | 1 | 3 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| | | Baja | Alta | Baja | Alta | Baja | Alta | Baja | Alta |
| R | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Como se observa en la Tabla , todos los resultados obtenidos cuando el factor SO es Bajo (Sin uso de Stock Objetivo) son iguales a 0. Esto se atribuye a una mala decisión en el stock objetivo, haciendo que el decisor determine utilizar un stock objetivo mayor que el necesario. Cabe resaltar que la demanda no fue insatisfecha en ningún caso.

Debido a los resultados presentes en la Tabla , no es posible evaluar los efectos de los factores ni sus interacciones utilizando un diseño experimental, por lo cual se decidió colapsar el diseño experimental, eliminar el factor SO y realizar los análisis basados en un diseño factorial 2^3 . En la Tabla se muestra la matriz de niveles de los factores resultante.

Tabla Niveles de Factores 2^3

| | Nivel Bajo | Nivel Alto |
|----------------------------------|------------|------------|
| Horizonte de Planificación (H) | 4 | 10 |
| Periodo de Re-Planificación (RP) | 1 | 3 |
| Incertidumbre en la Demanda (ID) | Baja | Alta |

En la Tabla se muestra la matriz del diseño factorial 2^3 , la cual reporta 8 filas, las cuales corresponden a los tratamientos y 3 columnas que representan los factores a estudiar.

Tabla Matriz del Diseño Factorial 2^3

| H | RP | ID |
|----|----|------|
| 4 | 1 | Baja |
| 4 | 1 | Alta |
| 4 | 3 | Baja |
| 4 | 3 | Alta |
| 10 | 1 | Baja |
| 10 | 1 | Alta |
| 10 | 3 | Baja |
| 10 | 3 | Alta |

5.6. MODELO MATEMÁTICO

El modelo matemático que corresponde a este diseño factorial se observa en la Ecuación * MERGEFORMAT (). En los diseños factoriales 2^k se estudian los efectos principales y las interacciones dobles; las interacciones de mayor orden (de tres o más factores) generalmente no influyen de manera significativa, motivo por el cual no es recomendable estudiarlas (Hurtado, 2007).

$$Y_{ijk} = \mu + h_i + rp_j + id_k + h_i rp_j + h_i id_k + rp_j id_k + h_i rp_j id_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde

$$Y_{ijk} =$$

Variable de salida Alm_Externo

$$\mu =$$

Media global

$$h_i =$$

El efecto del factor H_i

$$rp_j =$$

El efecto del factor RP_j

$$h_i rp_j =$$

El efecto de la interacción del factor H_i y RP_j

$$id_k =$$

El efecto del factor ID_k

$$h_i id_k =$$

El efecto de la interacción del factor H_i y ID_k

$$rp_j id_k =$$

El efecto de la interacción del factor RP_j e ID_k

$$\varepsilon_{ijk} =$$

El error muestral en la interacción del factor H_i , RP_j , ID_k y la réplica i

5.7. HIPÓTESIS

Se pondrán a prueba 6 hipótesis en este estudio, a fin de evaluar la significancia estadística de los efectos principales y las interacciones de segundo nivel. Las hipótesis a evaluar son:

- (1) El tamaño del Horizonte rodante de planificación (H) no impacta sobre el Almacenamiento Externo.
- (2) El Periodo de Re-Planificación (RP) no impacta sobre el Almacenamiento Externo.
- (3) La Interacción de los factores H/RP no impacta sobre el Almacenamiento Externo.
- (4) La Incertidumbre en la Demanda (ID) no impacta sobre el Almacenamiento Externo.
- (5) La Interacción de los factores H/ID no impacta sobre el Almacenamiento Externo.

(6) La Interacción de los factores RP/ID no impacta sobre el Almacenamiento Externo.

Las hipótesis a evaluar se encuentran representadas en la Tabla .

Tabla . Hipótesis Diseño Experimentos 2³

| | |
|---|---|
| HIPÓTESIS 1 H ₀ : Efecto H =0 H _A : Efecto H ≠0 | HIPÓTESIS 2 H ₀ : Efecto RP =0 H _A : Efecto RP ≠0 |
| HIPÓTESIS 3 H ₀ : Efecto H/RP =0 H _A : Efecto H/RP ≠0 | HIPÓTESIS 4 H ₀ : Efecto ID =0 H _A : Efecto ID ≠0 |
| HIPÓTESIS 5 H ₀ : Efecto H/ID =0 H _A : Efecto H/ID ≠0 | HIPÓTESIS 6 H ₀ : Efecto RP/ID =0 H _A : Efecto RP/ID ≠0 |

5.8. IMPACTO DE LA INCERTIDUMBRE DE LA DEMANDA

Adicionalmente se desarrollo una serie de simulaciones con los mismos parámetros de congelamiento (4-10) y re planificación (1-3) pero con un rango más amplio en la incertidumbre de la demanda, a fin de analizar el impacto de impacto de la incertidumbre de la demanda en el almacenamiento externo. Se realizaron simulaciones en escenarios con 7 parámetros de incertidumbre de la demanda. Los resultados en la Tabla son el promedio de 10 simulaciones simultáneas realizadas.

Tabla . Almacenamiento Externo vs Incertidumbre

| Escenario | 4-1 | 4-3 | 10-1 | 10-3 | |
|------------|------|---------|---------|---------|---------|
| Incertidum | 0,01 | 1092,13 | 1091,92 | 1100,00 | 1092,67 |
| | 0,05 | 1193,50 | 1111,92 | 1122,10 | 1051,40 |
| | 0,10 | 1271,50 | 1183,58 | 1131,50 | 1136,20 |
| | 0,20 | 1176,75 | 1118,75 | 1400,10 | 1237,27 |
| | 0,30 | 1469,25 | 1459,42 | 1039,20 | 1428,93 |
| | 0,40 | 1595,63 | 1604,55 | 1280,50 | 1875,13 |
| | 0,50 | 2983,63 | 1844,33 | 2250,50 | 2590,93 |

6. ANÁLISIS DE LOS EXPERIMENTOS

En este capítulo se muestran los análisis realizados a los datos presentados en el capítulo anterior, así como las verificaciones de supuestos y demás requisitos para garantizar la validez estadística del estudio.

Se analizaron los datos suscritos bajo la Tabla utilizando el software estadístico STATGRAPHICS, se desarrollo un análisis de varianza, el cual se muestra en la Tabla .

Tabla . Análisis de Varianza para Alm_Ext

| Fuente | Suma de Cuadros | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-----------------|----|----------------|---------|---------|
| A: H | 8,905E6 | 1 | 8,905E6 | 95,19 | 0,0000 |
| B: RP | 1,62148E6 | 1 | 1,62148E6 | 17,33 | 0,0001 |
| C: ID | 1,30655E7 | 1 | 1,30655E7 | 139,66 | 0,0000 |
| AB | 75281,6 | 1 | 75281,6 | 0,80 | 0,3740 |
| AC | 8,82016E6 | 1 | 8,82016E6 | 94,28 | 0,0000 |
| BC | 1,58162E6 | 1 | 1,58162E6 | 16,91 | 0,0001 |
| Error total | 4,67765E6 | 57 | 93553,0 | | |
| Total (corr.) | 3,97036E7 | 63 | | | |

En este análisis de varianza a excepción de la combinación de los factores H y RP, todos los efectos tienen una valor-P menor que 0,05, indicando que tienen una influencia estadísticamente significativa sobre la respuesta con un nivel de confianza del 95,0%, por este motivo, fueron excluidos.

Tabla . Análisis de Varianza para Alm_Ext con Factores Excluidos

| Fuente | Suma de Cuadros | Gl | Cuadrado Medio | Razón-F | Valor-P |
|---------------|-----------------|----|----------------|---------|---------|
| A: H | 8,905E6 | 1 | 8,905E6 | 90,46 | 0,0000 |
| B: RP | 1,62148E6 | 1 | 1,62148E6 | 16,47 | 0,0001 |
| C: ID | 1,30655E7 | 1 | 1,30655E7 | 132,72 | 0,0000 |
| AC | 8,82016E6 | 1 | 8,82016E6 | 89,59 | 0,0000 |
| BC | 1,58162E6 | 1 | 1,58162E6 | 16,07 | 0,0002 |
| Error total | 5,70984E6 | 58 | 98445,5 | | |
| Total (corr.) | 3,97036E7 | 63 | | | |

R-cuadrada = 85,6188 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 84,3791 por ciento

Estadístico Durbin-Watson = 2,01363 (P=0,5445)

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 85,6188% de la variabilidad en la variable de respuesta. Los grados de libertad del error (58) indican la robustez de las conclusiones obtenidas. En la Ecuación * MERGEFORMAT () se muestra el Coeficiente de Regresión, que indica el número de unidades en la variable de respuesta Alm_Ext por efecto del cambio en los valores de los factores.

$$\text{Intercepto} = 1102,08 - 7,94037 * H + 8,87284 * RP - 689,511 * ID + 853,412 * H * ID - 1084,16$$

6.1. COMPROBACIÓN DE LOS SUPUESTOS

6.1.1. NORMALIDAD

Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk, como se muestra en la Tabla obteniéndose un valor-p igual a 0,202213 se concluye que los datos provienen de una distribución normal con 95%, ó más, de confianza. En la Fig. se soporta gráficamente la hipótesis de normalidad de los datos.

Tabla Prueba de Normalidad

| <i>Prueba</i> | <i>Estadístico</i> | <i>Valor-P</i> |
|-------------------------------|--------------------|----------------|
| Estadístico W de Shapiro-Wilk | 0,966936 | 0,202213 |

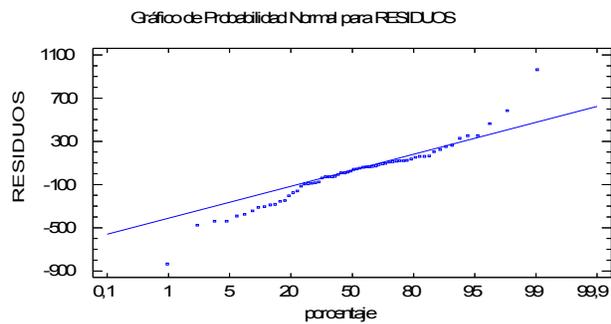


Fig. . Gráfico de Probabilidad Normal para Residuos

6.1.2. INDEPENDENCIA

El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5,0%, no hay indicación de auto correlación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5,0%.

En la Fig. , que muestra la Gráfica de Residuos vs Predichos, no se pueden detectar patrones, lo cual apoya gráficamente el supuesto de independencia.

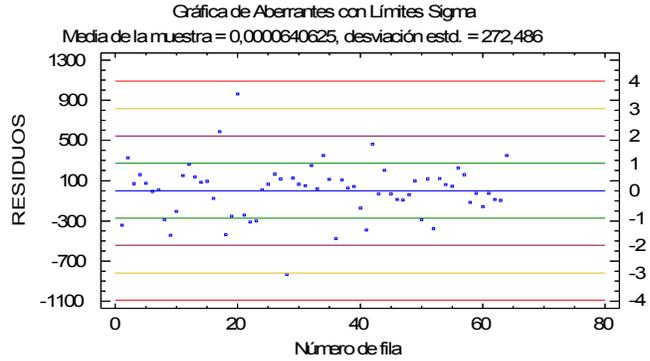


Fig. . Gráfica de Aberrantes con Límites Sigma

6.1.3. VARIANCIAS HOMOGÉNEAS

Para los experimentos factoriales 2^k no existen pruebas analíticas para verificar el supuesto de homogeneidad, por lo tanto se debe recurrir a pruebas Gráficas para comprobar este supuesto. La Fig. representa la Gráfica de Residuos vs predichos, donde no se detecta ningún patrón que muestre relación entre las muestras.

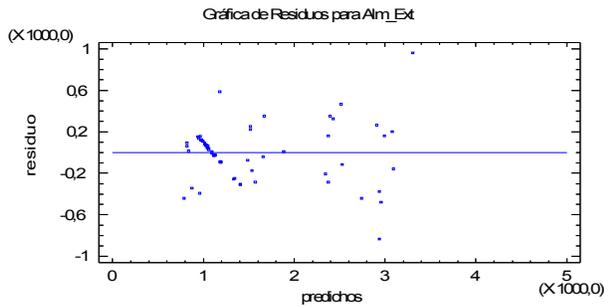


Fig. Gráfica de Residuos vs Predichos

6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos del análisis ANOVA del diseño factorial 2^3 indicaron que las variables altamente significativas fueron ID, H y la interacción de estos factores. La influencia en la respuesta del sistema ante cambios en las variables puede ser observada claramente y de manera estandarizada en el diagrama de Pareto (Fig.).

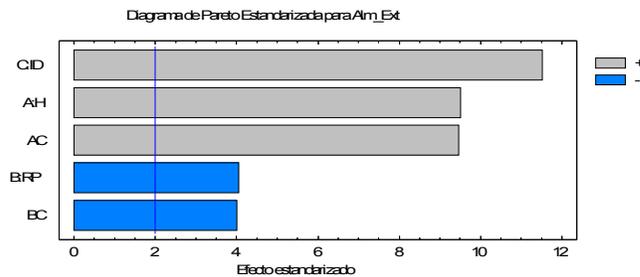


Fig. Diagrama de Pareto Estandarizada para Alm_Externo

6.2.1. ANÁLISIS DE INTERACCIONES

En la Fig. se muestra el Gráfico de las interacciones que son estadísticamente influyentes en la variable de respuesta. Cuando el factor ID es bajo, no se aprecia diferencia entre las diferentes combinaciones de factores. Demostrando la importancia de un buen pronóstico de la demanda.

Cuando el factor ID es alto, la interacción más significativa, es decir, la que tiene la pendiente más pronunciada, es la interacción H-ID, y en menor medida la interacción RP-ID. Esta Gráfica refuerza las conclusiones obtenidas de la Gráfica de Pareto (Fig.). A pesar que la interacción H-ID presenta la pendiente más pronunciada cuando el factor ID se encuentra en su nivel bajo, no se observa

diferencia, lo cual indica la importancia de tener un buen pronóstico de la demanda.

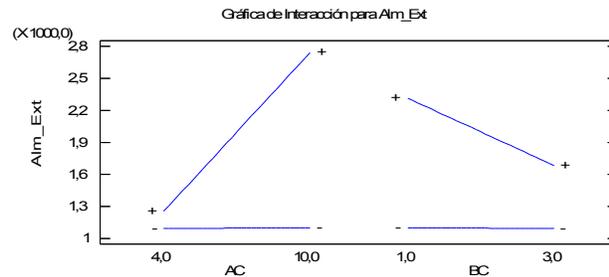


Fig. . Gráfica de Interacción Diseño 2³

6.2.2. ANÁLISIS DE EFECTOS PRINCIPALES

La Fig. muestra los efectos principales de los factores. Cuando el factor H es bajo las unidades producidas son menores, la explicación de este fenómeno se debe a que en periodos de planificación más cortos, el sistema tiene mejores oportunidades de adaptarse a la incertidumbre. En (Sridharan, Berry, and Udayabhanu, 1987), se menciona que altos valores de en los periodos de planificación se traducen en menores costos de producción, pero al mismo tiempo se traducen en un mayor número de unidades almacenadas externamente.

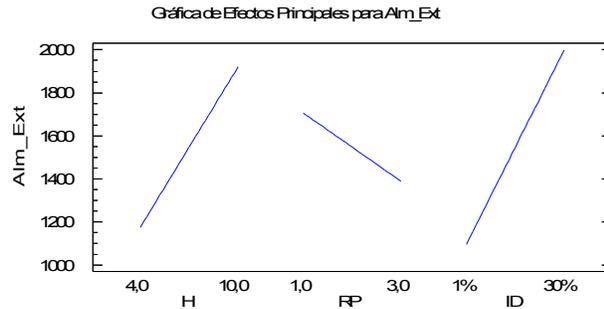


Fig. Gráfica de Efectos Principales

También se puede apreciar una relación inversamente proporcional entre el valor de RP y el valor de la variable de Alm_Externo, esto refuerza las conclusiones desarrolladas en la investigación de *(Zhao, K. LAM, 1997)*, donde concluyen que a mayores periodos de re planificación se obtienen como resultado menores costos totales de producción. También se encuentra una relación predecible, presente en casi todos los libros de texto, entre una menor incertidumbre de la demanda y menor almacenamiento externo, la misma conclusión a la que se llegó en *(KELEPOURIS T, ET AL., 2007)*

Es preciso aclarar que estos efectos son representativos para los intervalos establecidos para cada una de las variables dentro de los límites de experimentación establecidos.

6.2.3. ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA INCERTIDUMBRE

Para analizar el impacto de la demanda, se graficaron los datos de la Tabla utilizando una hoja de cálculo, donde se comparan los resultados en serie de a dos y se realizó un análisis de regresión lineal, con el objetivo de hallar patrones que permitan predecir el comportamiento del almacenamiento.

Fig. Grafica de Almacenamiento vs Incertidumbre. H=4

Fig. Grafica de Almacenamiento vs Incertidumbre. H=10

Fig. Grafica de Almacenamiento vs Incertidumbre. RP=1

Fig. Grafica de Almacenamiento vs Incertidumbre. RP= 3

Se puede observar claramente un incremento en la variable de respuesta, cada vez que la incertidumbre de la demanda aumenta. Este incremento parece ser mayor cuando la incertidumbre es cercana al 50%. Para obtener mayor exactitud en el comportamiento de la demanda, se realizo un análisis de regresión lineal a cada escenario, las cuales ayudaran a predecir el comportamiento del almacenamiento externo en función de la incertidumbre de la demanda. En la Tabla se muestran las ecuaciones resultado de los análisis de regresión lineal y el ajuste de la línea de tendencia con la grafica.

Tabla Ecuaciones Línea de Tendencia

| Escenario | Ecuación Línea de Tendencia | R ² |
|-----------|--|----------------|
| H=4-RP=1 | $y = 35,87x^3 - 341,8x^2 + 999,9x + 359,$ | 96.7% |
| H=4-RP=3 | $y = -0,445x^3 + 32,45x^2 - 109,5x + 1183$ | 95.9% |
| H=10-RP=1 | $y = 14,41x^4 - 200,4x^3 + 939,3x^2 - 1661,x + 2015$ | 95.7% |
| H=10-RP=3 | $y = 10,60x^3 - 58,53x^2 + 114,7x + 1011$ | 99.8% |

Estas graficas y las ecuaciones obtenidas muestran un aumento exponencial en la variable de respuesta a razón del crecimiento de la incertidumbre en la demanda. Las ecuaciones deducidas pueden ser de gran ayuda al momento de realizar el

presupuesto de inventarios y abren campo a una nueva serie de investigaciones que permitan profundizar más en el tema de investigación.



7. CONCLUSIONES

En este estudio se evaluó el impacto de los parámetros de congelación de decisiones en la planificación del almacenamiento externo en un entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda, mediante la exploración de investigaciones previas acerca del tema, la simulación de diferentes escenarios y su posterior análisis mediante el diseño de experimentos y la tabla ANOVA.

Se diseño y analizo un experimento factorial 2^3 . Este diseño cumple con los supuestos de NORMALIDAD, INDEPENDENCIA y VARIANCIAS HOMOGÉNEAS, requeridos para extraer conclusiones del análisis de varianza. De dicho experimento se puede mencionar que:

- (1) Es necesario realizar una buena planeación de la producción porque a una mala planificación de la producción y al uso innecesario de stock objetivo crea un impacto negativo en los inventarios y creando la necesidad de requerir de almacenamiento en almacenes externos.
- (2) El tamaño del horizonte rodante de planificación y la incertidumbre de la demanda impactan sobre el inventario requiriendo más almacenamiento externo a la empresa. Es decir, entre mayores sean dichos valores mayores serán las unidades almacenadas, pero no se hallan diferencia entre dichas interacciones cuando el factor ID es bajo.
- (3) A mayores periodos de planificación, mayor será el almacenamiento externo. En (Sridharan, Berry, and Udayabhanu, 1987), se menciona que altos valores del periodo de planificación se traducen en menores costos de producción, lo cual abre las puertas a una nueva investigación.
- (4) Entre menor sea la frecuencia de la re planificación, menores serán las unidades almacenadas externamente. Esta conclusión apoya el estudio realizado en (Zhao, K. LAM, 1997) donde concluyen que a mayores

periodos de re planificación se obtienen como resultado menores costos totales de producción.

- (5) Hay una relación directamente proporcional entre la incertidumbre de la demanda y el número de unidades almacenadas en el operador externo, es decir, a mayor incertidumbre en los pronósticos, mayores serán las unidades almacenadas en el operador externo. Esto evidencia que la selección de un modelo de pronóstico tiene influencias significativas en el desempeño del sistema de producción e inventarios

Se desarrollaron una serie de simulaciones adicionales para analizar el comportamiento del almacenamiento externo en diferentes escenarios de incertidumbre. Se comprobó gráficamente que a mayor incertidumbre el inventario aumenta, buscando soportar las variaciones en la demanda. También se presentó un análisis de regresión que permita predecir el inventario en función de la incertidumbre de la demanda.

En conclusión, se determinó que los parámetros de congelación de decisiones tienen un impacto significativo en la planificación del almacenamiento externo en un entorno de incertidumbre y estacionalidad de la demanda. Para finalizar, es necesario enfatizar que estos resultados son representativos para los intervalos establecidos dentro de los límites de experimentación. Se invita a realizar estudios con diferentes parámetros pudieran reforzar o refutar las conclusiones aquí presentadas.

8. REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS

- Al-Ameri, T. A., Shah, N., & Papageorgiou, L. G. (2008). Optimization of vendor managed inventory systems in a rolling horizon framework. *Computers and Industrial Engineering*, 54, 1019.
- Bakir, A. M. & Byrne, M. D. (1998). Stochastic linear optimization of an MPMP production planning model. *International Journal of Production Economics*, 55, 87-96.
- BERRY, W. L., T. E. VOLLMANN AND D. C. WhyBARK, *Master Production Scheduling-. Principles and Practice*, American Production and Inventory Control Society, 1979.
- Blackburn, J. D., Kropp, D. H., & Millen, R. A. (1986). Comparisons of strategies to dampen nervousness in MRP systems. *Management Science*, 32, 413–429.
- Brandimarte, P. (2006) Multi-item capacitated lot-sizing with demand uncertainty. *INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, vol. 44, pp. 2997-3022.
- Buxey, G. (2003). Strategy not tactics drives aggregate planning. *International Journal of Production Economics*, 85, 331-346.
- Campbell, G. M. (1992). Master production scheduling under rolling planning horizons with fixed order intervals. *Decision Sciences*, 23(2), 312–331.
- CARLSON, R. C, J. V. JUCKER AND D. H. KROPP, "Less Nervous MRP Systems: A Dynamic Economic Lot-Sizing Approach," *Management Sci.*, 25 (1979).

- CHUNG S.H. y SNYDER C. A. (2000) «ERP adoption: a technological evolution approach» International Journal of Agile Management Systems 2/1 [2000] 24-32
- COOPER, R.B. y ZMUD, R.W. (1990), «Information technology implementation research: a technological diffusion approach», Management Science, Vol. 16 No. 2, pp. 123-39.
- CORONADO-HERNÁNDEZ, J., (2010). Herramienta para presupuestar la producción y almacenes en entornos de incertidumbre y estacionalidad. Trabajo de Investigación. Universidad Politecnica de Valencia. España.
- CORONADO-HERNÁNDEZ, J., (2010a). Gaviota 1.0: Planificador de operaciones y almacenes para entornos de incertidumbre con demanda estacional by [Jairo Rafael Coronado-Hernandez](#) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported License](#).
- CORONADO-HERNÁNDEZ, J., GARCÍA-SABATER, J. & MAHEUT, J. (2011). Modelo fuzzy de programación lineal entera-mixta para el cálculo de stocks objetivos. 5th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management.
- Gaither, N y Frazier, G. Administración de la Producción y Operaciones. Ed. Thomson Editores
- HURTADO MARQUEZ, Julio, (2007), Una Introducción al Diseño de Experimentos, Cartagena.
- Kazemi, M., Ait-Kadi, D., & Noureifath, M. (2010). Robust production planning in a manufacturing environment with random yield: A case in sawmill production planning. European Journal of Operational Research, 201, 882-891.

- Kelepouris T, et al. (2007), The impact of replenishment parameters and information sharing on the bullwhip effect: A computational study. *Computers and Operations Research*
- Kropp, D. H., & Carlson, R. C. (1984). A lot-sizing algorithm for reducing nervousness in MRP systems. *Management Science*, 30(2), 240–244 96
- KROPP, DEAN H., ROBERT C. CARLSON AND JAMES V. JUCKER, (1983). "heuristic Lot-Sizing Approaches For Dealing With MRP System Nervousness," *Decision Sci.*, 14
- *Lin et al, (1994) , The effects of environmental factors on the design of master production scheduling systems Journal of Operations Management II 367-384*
- M.J. Meixell, The impact of setup costs, commonality, and capacity on schedule stability: An exploratory study, *Int. J. Production Economics* 95 (2005) 95–107
- Minifle,. R. And Ed heard, "On the generalizability of MRP simulation results," *Engineering Costs And Production Economics*, 9 (1985).
- MONTGOMERY C. DOUGLAS. *Diseño y Analisis de Experimentos*. Segunda Edición. LIMUSA WILEY
- *J. Mula et al. MRP with flexible constraints: A fuzzy mathematical programming approach, Fuzzy Sets and Systems 157 (2006) 74–97*
- O. Tang, R.W. Grubbstro, Planning and replanning the master production schedule under demand uncertainty, *Int. J. Production Economics* 78(2002) 323-334
- ORLICKY, Joseph (1975) «MRP, The New Way of Life in Production and Inventory Management». McGraw-hill Book Company

- Ozdamar, L., Bozyel, M. A., & Birbil, S. I. (1998). A hierarchical decision support system for production planning (with case study). *European Journal of Operational Research*, 104, 403-422.
- PTAK, C.A. y SchRAGENHEIM, E. (2000), «ERP: Tools, Techniques, and Applications for Integrating the Supply Chain», CRC Press-St Lucie Press.
- Santos Garcia, J., (2007) Organización de la Producción II Planificación de procesos productivos, Navarra, Universidad de Navarra
- Silva Sanchez, Alvaro,(2006) Logística De Almacenamiento, Tesis De Master Of Science In Logistics Management, Tecana American University
- Sridharan, V., Berry, W. L., & Udayabhanu, V. (1987). Freezing the master production schedule under rolling planning horizons. *Management Science*, 33(9), 1137–1149.
- Stadtler, H. (2005). Supply chain management and advanced planning-- basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, Vol. 163, nº. 3, pp. 575-588.
- Steele, D. C. (1975). The nervous MRP-system: how to do the better? *Production and Inventory Management*, 16(4), 83–88.
- Tang, O.; Grubbstrom, R.W., 2000. Modelling rescheduling activities in a multi-period production-inventory system. *International Journal of Production Economics* 68,123–135.
- VoLLMAN, T. E., W. L. BERRY AND D. C. WhYBARK, *Manufacturing Planning and Control Systems*, Richard D. Irwin, homewood, IL, 1984.
- Wang, R. C. & Liang, T. F. (2004). Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning. *Computers & Industrial Engineering*, 46, 17-41.

- Xie, J., Zhao, X., & Lee, T. S. (2003). Freezing the master production schedule under single resource constraint and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 83, 64–84
- Zhao, X., & Lee, T. S. (1993). Freezing the master production scheduling for material requirements planning system under demand uncertainty. *Journal of Operations Management*, 11(2), 185–205.
- Zhao, X., Goodale, J., & Lee, T. S. (1995). Lot-sizing rules and freezing the master production schedule in MRP systems under demand uncertainty. *Journal of Operations Management*, 11(2), 185–205.
- Zhao, X., Xie, J., & Jiang, Q. (2001). Lot-sizing rule and freezing the master production schedule under capacity constraint and deterministic demand. *Production and Operations Management*, 10(1), 45–67.
- Zhao, X., Lam, K., 1997. Lot-sizing rules and freezing the master production schedule in material requirements planning systems. *International Journal of Production Economics* 53, 281–305.
-