

# Analysis Of The Impact Of Lead Time On The Total Costs And The Level Of Service For A Supply Chain With Different Product Structures And Rolling Planning Horizon.

Rafael Merlano Porto<sup>1</sup>, Jairo Coronado Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Corporación Universitaria Del Caribe Cecar, Colombia, [rafael.merlano@cecar.edu.co](mailto:rafael.merlano@cecar.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad de la Costa, Colombia, [jcoronad18@cuc.edu.co](mailto:jcoronad18@cuc.edu.co)

*Abstract– The main objective of the research is to evaluate the impact of lead time on the system of costs and performance of the service level, for multi-level CSM. The production system is planned and optimized on the rolling horizon, using the GMOP mathematical model, based on the concept of Stroke and Skus. With the results of the simulation, an analysis of variance is carried out, and interaction of the input factors on the response variables of the system.*

*Keywords– Master Production Programming., Stroke and Skus., Lead Time., Product Structure., Material's list., Rolling Horizon, Freezing Period.*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.45>  
ISBN: 978-0-9993443-1-6  
ISSN: 2414-6390

# ANÁLISIS DEL IMPACTO DEL LEAD TIME EN LOS COSTOS TOTALES Y EL NIVEL DE SERVICIO PARA UNA CADENA DE SUMINISTRO CON DIFERENTES ESTRUCTURAS DE PRODUCTOS Y HORIZONTE RODANTE DE PLANIFICACIÓN.

Rafael Merlano Porto<sup>1</sup>, Jairo Coronado Hernández<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Corporación Universitaria Del Caribe Cecar, Colombia, [rafael.merlano@cecar.edu.co](mailto:rafael.merlano@cecar.edu.co)

<sup>2</sup> Universidad de la Costa, Colombia, [jcoronad18@cuc.edu.co](mailto:jcoronad18@cuc.edu.co)

**Abstract– El principal objetivo de la investigación es analizar y evaluar el impacto o efectos que tienen el lead time por parte de los proveedores o eslabón primario sobre el sistema de costos y el desempeño del nivel de servicio, para una cadena de suministro de tipo multinivel. El sistema de producción, representado por el segundo eslabón de la cadena, se planifica y se programa mediante un horizonte rodante, el cual se optimiza para cada periodo, teniendo en cuenta los periodos de replanificación y los periodos de congelamiento. Se consideran también en esta etapa, los niveles de inventario, las recepciones programadas, y la limitación de los recursos. A través del modelo matemático GMOP (Generic Materials & Operations Planning), se optimiza el plan de requerimientos de materiales, basándose en el concepto de Stroke y Skus, y otro factor, entre ellos; los tiempos de entrega y las variantes en las estructuras de ensamble de los productos. El tercer eslabón de la cadena está condicionada por la heterogeneidad de la demanda, basada en el índice de Gini y un coeficiente de variación que simula un entorno con incertidumbre. Con los resultados de la simulación, se efectúa un análisis de varianza, con el propósito de evaluar el comportamiento, e interacción de los factores de entrada sobre el comportamiento de los costos totales y el efecto bullwhip, medido a través del nivel de servicio del sistema.**

**Keywords:** Programación Maestra de Producción; Stroke y Skus; Lead Time, Estructura de Productos; Lista de Materiales; Horizonte Rodante, Periodo de Congelamiento.

## I. INTRODUCCIÓN

La cadena de suministro se compone de todas las etapas en el cumplimiento de una solicitud del cliente (Chopra y Meindl, 2006). Uno de los intereses de los directivos, es la eliminación de los residuos en toda la cadena de abastecimiento.

Para las empresas, no es suficiente la integración de los procesos internos, se hace necesario que el concepto de integración pase las fronteras empresariales (Whicker, Bernon, Templar, y Mena, 2006), con el propósito de fortalecer las relaciones con proveedores y clientes, y de esta forma aumentar la ventaja competitiva. Sin embargo, esta integración se ve afectada por factores y variables que inciden en el comportamiento de todo el sistema.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.45>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

**16<sup>th</sup> LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology:** “Innovation in Education and Inclusion”, 19-21 July 2018, Lima, United States.

Entre los factores más relevantes se encuentran, la gestión y mantenimiento de los niveles de inventario (Bjork & Carlsson, 2007), las cantidades óptimas de pedido de materiales (Glock, 2012), las relaciones de comunicación y cooperación entre los agentes, la incertidumbre de la demanda y la complejidad del sistema entre otros, con el fin de articular cada uno de esos eslabones. Y un factor que por su importancia ha sido objeto de estudio en los últimos años, está relacionado con los tiempos de entrega o LEAD TIME a nivel de proveedores y nivel operativo (De Treville, Shapiro & Hameri, 2002). El cual puede tener un impacto positivo o negativo por su inestabilidad o variabilidad. (Kamal & Hafar, 2010).

En el presente estudio, se hace énfasis principalmente en analizar y estudiar el impacto y la relación entre el Lead Time (LT) y los costos totales generados por la cadena de abastecimiento, y de la cual se conoce poco de esta relación (Whicker, et al., 2006), se suma además la incidencia que pueden tener los tiempos de entrega en el nivel de servicio o inestabilidad en el cumplimiento de la demanda, debido al efecto bullwhip que se genera en la cadena de suministro (Li, Y., Xu, X., & Ye, F. 2011).

Debido a la variabilidad de los tiempos de entrega por parte de los proveedores, es importante preguntarnos por el efecto o impacto que el Lead Time tiene en el sistema de costos totales y en el nivel de servicio de la cadena, cuando se trabaja en un horizonte rodante y cada ciclo de planificación debe ser ajustado y optimizado acorde a la naturaleza variable de la demanda. (Weng, 1996).

## II. ESTADO DEL ARTE

Dado que cada producto debe pasar por varias etapas hasta estar disponible para el consumidor final, una de las tareas de los directivos es la eliminación del desperdicio a lo largo de la cadena; por lo tanto, se hace necesario el uso de herramientas que apoyen la toma de decisiones y contribuyan con ese objetivo. Es así que investigadores como (Kamal & Hafar, 2010) plantean que esta eliminación es cada vez más compleja. Además, sostiene que uno de los factores más relevantes en las cadenas de suministro (Supply Chain), es el Lead Time. Este factor es uno de los principales elementos que afectan el desempeño y la competitividad de la cadena de abastecimiento, y hace que el proceso de gestión y coordinación de la Supply Chain (SC), sea más complejo. De acuerdo a la investigación desarrollada por Kamal & Hafar

(2010), establece que el Tiempo de Entrega (LT) se convierte en un factor que no se puede separar al momento de gestionar la Supply Chain (SC). Li, C. y Liu, S. (2012) con el fin de mejorar la gestión de la cadena de suministro, propone un modelo de optimización robusta para reducir el “efecto látigo”, en sectores que presentan incertidumbre. Kim, Harrison, & Hayya, 2006., aclaran que el tiempo de entrega ya sea de forma determinista o estocástica, es uno de los factores que exacerban el efecto bullwhip inflando la varianza de la demanda en los niveles aguas arriba de la cadena.

Sin embargo, Lee, Klassen, Furlan, & Vinelli (2014), sostienen que el efecto látigo durante mucho tiempo ha sido reconocido como uno de los factores críticos que afecta la SC, más específicamente amplificando la variabilidad de la demanda a través de los diferentes eslabones de la cadena aguas arriba. De Treville, Shapiro & Hameri, 2002 establecen que “Para mejorar el rendimiento de la demanda en la cadena de suministro, es mejor para las partes, concentrarse primero en la reducción del tiempo de espera, en lugar de concentrarse en mejorar la transferencia de información de la demanda aguas arriba. De Treville, (2002) estudia la incidencia del Lead Time en el rendimiento de los sistemas de producción. Otros investigadores como Li, Y., Xu, X., & Ye, F. (2011), proponen un modelo para la coordinación óptima de la cadena de suministro (SC) con Lead Time (LT) controlables y restricciones en el nivel de servicio. Maheut & García-Sabater, 2011 proponen un modelo matemático bajo el concepto de Stroke y Skus, con el propósito de minimizar también los inventarios y los costos por almacenamiento.

### III. BASE CONCEPTUAL.

Para medir el impacto de los Lead Time (LT) por parte de proveedores, se ha considerado; tipos de estructura del producto, el plan de producción (MPS) en horizonte rodante, el plan de Requerimientos de Materiales MRP, con su respectiva lista de materiales (lista BOM o Bill of Materials) y los recursos empleados para fabricación. (Miranda, Rubio, Chamorro, & Bañegil, 2005).

Para las estructuras del producto, se parte de la investigación de (Prasad & Krishnaiah, 2001). Para ello, emplea cinco estructuras con su respectivo índice de Gozinto.

Las cinco estructuras propuestas, están basadas en una estructura pura de proceso (estructura 1) y una estructura pura de ensamble, (estructura 5) y tres estructuras que combinan procesos y ensamble (2,3,4), propuestas por Prasad et al (2001). En la figura 1, se muestran las cinco estructuras, adaptadas al concepto de Stroke y Skus.

#### Modelo Matemático Generic Materials & Operations Planning (GMOP)

Se propone el modelo matemático, Generic Materials & Operations Planning, denominado GMOP, con el fin simular y los escenarios para medir el impacto del Lead Time. La ecuación 1(Función objetivo), evalúa el comportamiento de

los Costos Totales del Sistema (Costos de Setup, los Costos de Planificación de los Stroke, los Costos de Almacenamiento y los Costos de Faltantes) y el Nivel de Servicio del Sistema.

La ecuación 2 y 3 en el modelo matemático, representan la cantidad de flujo de los materiales, en la ecuación 4 y 5 se define la producción de los Stroke por periodo, la ecuación 6 y 7 hace referencia a los consumos de Skus por cada Stroke – la ecuación 8 indica que, si se presenta un Stroke en el periodo  $t$ , entonces se presenta costo de preparación. La ecuación 9, representa la limitación en la capacidad de cada recurso para cada periodo. De acuerdo a lo anterior, se puede inferir que el modelo anterior es un modelo NP-Hard. (Maheut & García-Sabater, 2011). Maheut et al. (2011). El modelo matemático es el siguiente:

*Set*

$i$  Productos SKUs  $i = 1, \dots, 50$

$r$  Recursos  $1, \dots, 4$

$k$  Stroke  $1, \dots, 50$

$t$  Periodos  $= 1, \dots, 52$

*Variables*

$Z$  Función objetivo Costos Totales del Setup

$Sk_{kt}$  Cantidad de Strokes  $k$  que empiezan durante el periodo  $t$

$In_{it}$  Nivel del inventario del SKUs  $i$  al final del periodo  $t$

$J_{kt}$  Vale 1 si el Stroke  $k$  esta en setup durante el periodo  $t$  (0 en caso contrario)

$con_{ikt}$  Variable de consumo

$x_{ikt}$  Unidades producidas

$consumos_{it}$  Consumos para segundo balance de inventario

$produccion_{it}$  Producción de SKUs por cada Stroke en el periodo  $t$

*Parametros*

$D_{it}$  Demanda en SKU,  $i$  durante el periodo  $t$

$h_{it}$  Costo de almacenar una unidad SKU,  $i$  durante el periodo  $t$

$Ot_{kr}$  Tiempo de Operación para la ejecución de una unidad de Stroke en el recurso  $r$

$St_{kr}$  Tiempo de Setup del Stroke  $k$  en el recurso  $r$

$P_{kt}$  Costo de planificar la ejecución de una unidad de Stroke  $k$  durante el periodo  $t$

$F_{kt}$  Costo de Setup del Stroke  $k$  durante el periodo  $t$

$Ii_0$  Nivel inicial del inventario de SKUs  $i$

$Y_{it}$  Recepciones Planificadas en SKUs  $i$  durante el periodo  $t$

$Cd_{rt}$  Capacidad disponible del recurso  $r$  durante el periodo  $t$

$So_{ik}$  Numero de unidades de SKUs  $i$ , resultado de la ejecución de una unidad del Stroke  $k$

$Si_{ik}$  Numero de unidades de SKUs  $i$  que se consumen durante la ejecución del Stroke  $k$

$Lt_k$  Lead Time de un Stroke  $k$

*Función Objetivo*

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{i=1}^n (h_{it} * In_{it}) + \sum_{k=1}^K (P_{kt} * Sk_{kt} + J_{kt} * F_{kt}) \right]$$

$$In_{i,la} = I_{i0} + Y_{i,la} - D_{i,la} - consumos_{i,la} + produccion_{i,la}$$

$$In_{it} = In_{i,t-1} + Y_{it} - D_{it} - consumos_{it} + produccion_{it}$$

$$produccion_{it} = \sum_{k=1}^k x_{ikt}$$

$$x_{ikt} = So_{ik} * Sk_{k,t-Lt(k)}$$

$$con_{ikt} = Si_{ik} * Sk_{kt}$$

$$consumos_{it} = \sum_{k=1}^k con_{ikt}$$

$$S_{kt} - M * J_{kt} \leq 0$$

$$\sum_{k \in S} (J_{kt} * St_{kr} + Sk_{kt} * Ot_{kr}) \leq Cd_{rt}$$

$$In_{it} \geq 0; Sk_{kt} \geq 0; J_{kt} \in \{0,1\}$$

**El Modelo Matemático GMOP, y las estructuras de productos**

Maheut et al. (2011), establecē que los productos que se trabajan en el modelo GMOP, pueden ser SKU (Stock Keeping Units). Explicados de manera simple, corresponde a productos en su embalaje y su ubicaci3n, ademās tiene en cuenta los recursos que se requieren en el proceso y que se tienen que planificar. En la Figura 1, se puede apreciar las diferentes estructuras de productos bajo el concepto de Stroke.

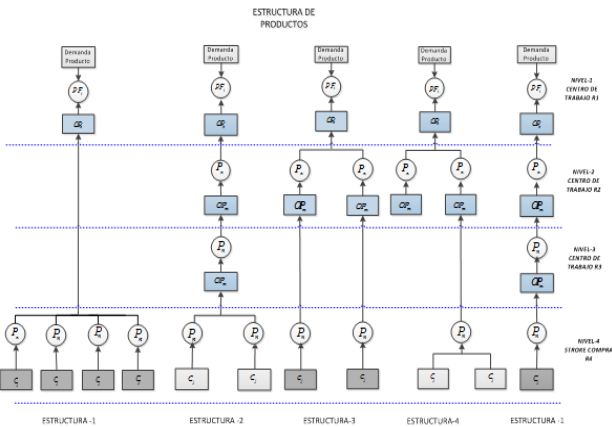


Fig. 1. Estructura tipo: 1, 2, 3, 4, 5, basadas en Stroke con centro de trabajo y recursos.

A nivel de ejemplo se puede observar en la figura 2, que representa la estructura 1, el nūmero de productos finales (i=1...10), los Stroke de operaci3n (k=1...10), sub-productos (Skus i=11...50), y Stroke de compras (k=11...50).

**El Modelo Matemático GMOP, y las matrices de operaciones.**

El nūmero de unidades en Skus, que resultan de la ejecuci3n de una unidad de Stroke, se representa mediante la matriz de operaciones y materiales, tambiēn denominada matriz sparse, conformada por ceros y unos, tambiēn dependiendo del ĩndice de Gozinto. Para esta investigaci3n el ĩndice es igual a 1.

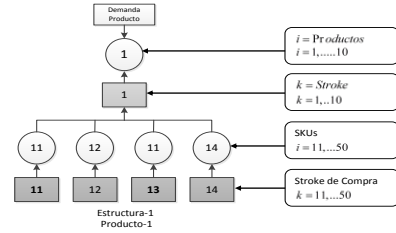


Fig. 2 Estructura tipo 1, basadas en Stroke y Skus.

Para el Stroke-1 de la Figura 2, se requieren cuatro unidades de Skus, esto son parte 11, 12, 13,14 respectivamente. En la tabla-1 se muestra la matriz correspondiente para representar la cantidad de, que como resultado se obtienen por la ejecuci3n de una unidad de Stroke, para este caso el Stroke-11, genera el producto-11 (Skus).

**IV. DISEÑO METODOL3GICO DE LA SIMULACI3N.**

En la Figura-3 y 4, se muestra un esquema general del proceso metodol3gico mediante el cual se efectuarā la simulaci3n que evalūa el impacto del Lead Time.

Para hacer posible la planificaci3n en horizonte rodante, se define a periodos, ademās se debe tener en cuenta los periodos de congelamiento (Tc), para este caso, y para replanificaci3n (h), donde periodos. En la figura 3 se aprecia el esquema general de la simulaci3n.

**V. PARĀMETROS EMPLEADOS EN LA SIMULACI3N**

Algunos parĀmetros de entrada en el modelo son tomados directamente de investigaciones previas y casos de estudios de la literatura, entre ellos podemos resaltar a Xie, Zhao, & Lee (2003), Zhao & Lee, (1996) y Prasad & Krishnaiah (2001). Los datos relacionados con los costes de almacenamiento, setup, Stroke (Producci3n, compra o transporte), y el factor Gozinto que se presentan en la Tabla 1 y 2, son una adaptaci3n de los valores de los trabajos de Krishnaiah Chetty & Prasad, (2001).

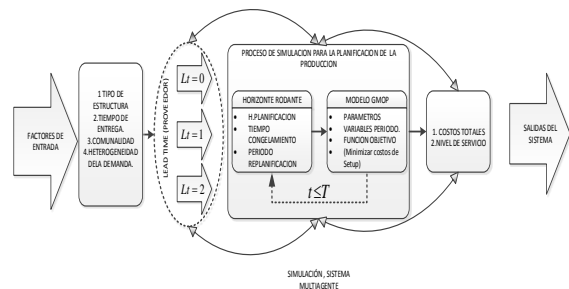


Fig. 3. Esquema general de la simulaci3n.

Estas adaptaciones se hicieron también de la tesis doctoral de Coronado-Hernández, (2015).

Los datos de demanda para cada producto se calcularon basados en los patrones utilizados por Omar & Bennell (2009).

TABLA 1  
PARÁMETROS DEL SISTEMA

Etapa	Costo de Almacenamiento	Costo de Setup	Costos de Stroke	Factor Gozinto
1	1	8000	2	-
2	0,1	4000	1	1
3	1	18000	5	1
4	2	4000	1	1
5	0,1	1800	0,5	1

Nota: El coste de faltante/retraso para todos los componentes es 2300.

TABLA 2  
PARÁMETROS DEL SISTEMA

Recurso	R1	R2	R3	R4
Tiempo de Stroke por unidad	1	1	1	1
Tiempo de Preparación	5	5	5	5
Capacidad en Tiempo	2000	2000	2000	2000

Nota: solo hay como máximo 4 recursos porque el último nivel siempre es compr

## VI. DISEÑO EXPERIMENTAL.

Para el diseño del modelo, se consideraron cuatro factores experimentales, tres replicas para cada tratamiento y para el análisis de varianza se trabajó con el programa estadístico StatGraphics.

### Factor Lead Time

Dado el propósito de esta investigación, y como se ha expresado anteriormente, además de la complejidad inherente del Lead Time(LT) en estos procesos, este factor presenta también incertidumbre en el suministro de los pedidos por parte de proveedores. Como se expresa en la figura 3, un lead time igual, indica que el aprovisionamiento de los materiales se realiza de forma inmediata. Para el caso cuando el Lead Time es igual a 1, esperamos que los proveedores tarde un 1 periodo en la entrega de los materiales, teniendo en cuenta que el proveedor puede estar ubicado en geográficamente en sitios diferentes.

<sup>1</sup> Vakharia , Parmenter, & Susan, ( 1995).

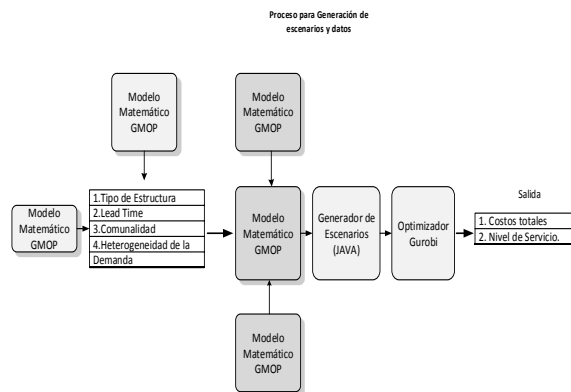


Fig. 4. Factores de entrada y variables de salida.

### Factor Comunalidad.

El factor de comunalidad ha sido ampliamente estudiado como se resalta en la literatura revisada, investigadores como Zhoua & Grubbstrom (2003), establecen que son características comunes, cuando se utiliza el mismo tipo de componentes en una estructura o lista de materiales y por lo general se encuentra en la industria manufacturera. (Vea la figura 5).

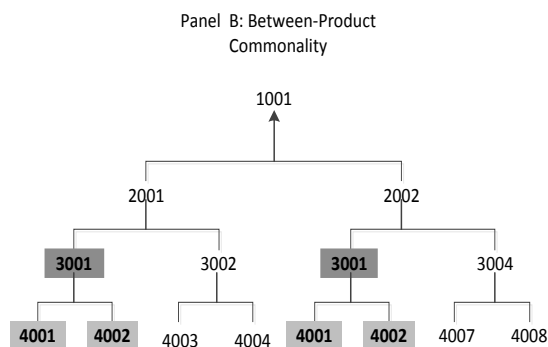


Fig. 5 Estructura de producto tradicional con comunalidad.<sup>1</sup>

Cada estructura está representada por 10 productos, con lista de materiales comunes. La lista de materiales para la estructura-1 y los 10 productos correspondientes, según el concepto de Stroke y Skus (Vea la figura 2).

### Factor Heterogeneidad de la Demanda.

La heterogeneidad de la demanda está basada como medida, en el coeficiente de Gini (HD). Se trabajó con dos niveles, Alto y Bajo, el primer nivel con una HD=0% y el segundo nivel HD=88,5%. En la tabla 3 se resumen los factores de entrada.

## VARIABLES DE RESPUESTA

Se desea indagar y analizar el impacto del LT e interacciones presentes entre los costos totales de la cadena de suministro y el nivel de servicio.

TABLA 3  
RESUMEN FACTORES Y NIVELES.

Factor No	Nombre	Label	Numero Niveles	Valores
1	Estructura	Ep	6	Ep1, Ep2, Ep3, Ep4, Esp, Ep6
2	Lead Time	Lt	3	0,1,2
3	Comunalidad	Cm	2	0; 0,5
4	Heterogeneidad	Hd	2	0%; 88,5%

## COSTOS TOTALES

Los costos totales del sistema, están determinados en el modelo GMOP, de la siguiente forma.

$$Costo\ Total = \sum_{t=1}^T \left[ \sum_{i=1}^n (h_{it} * I_{it}) + \sum_{k=1}^K (P_{kr} * Sk_{kr} + J_{kr} * F_{kr}) \right] + \sum_{i=1}^T (d_{it} - SO_{i,k}) * Cf \quad (1)$$

## NIVEL DE SERVICIO.

El nivel de servicio (fill rate) se define como la fracción de la demanda que se satisface directamente del estante<sup>2</sup> La tasa de servicio se calcula como el complemento del cociente, entre la demanda insatisfecha esperada, y la demanda esperada por ciclo de reposición. Considerando el horizonte de planificación para periodos, el fill rate se expresa de la siguiente forma.

$$\beta_{Approx} = \sum_{i=1}^T \left( 1 - \frac{E(Demanda\ insatisfecha\ por\ ciclo\ de\ reposición)}{E(Demanda\ total\ por\ ciclo\ de\ reposición)} \right) \quad (2)$$

## HIPÓTESIS DEL MODELO.

La hipótesis del modelo se plantea de la siguiente forma.

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = \tau_3 = \dots \tau_k = 0$$

$$H_A : \tau_i \neq 0 \text{ para algún } i$$

## DISEÑO DEL MODELO ESTADÍSTICO.

Se plantea un, *Factorial general* (5x3x2<sup>3</sup>) con tres repeticiones por tratamiento. En resumen, se corren 120 instancias por 3 réplicas, para un total de 360 problemas.

$Y_{ijklm}$  = Variable de Respuesta

$\mu$  = Media general de los costos de Setup

$\alpha_i$  = Efecto del  $i$ -ésimo del factor Lead Time

$\beta_j$  = Efecto del nivel  $j$  del factor estructura del producto.

$\gamma_k$  = Efecto del nivel  $k$  del factor demanda del producto.

$\varphi_l$  = Efecto del nivel  $l$  del factor tiempo de congelamiento.

$\varepsilon_{ijklm}$  = error aleatorio en las combinaciones  $i, j, k, l, m$

$$Y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varphi_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\varphi)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\varphi)_{jl} + (\gamma\varphi)_{kl} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} +$$

$$(\alpha\gamma\varphi)_{ijl} + (\beta\gamma\varphi)_{jkl} + (\alpha\beta\gamma\varphi)_{ijkl} + \varepsilon_{ijklm}$$

$$i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3; k = 1, 2, 3; l = 1, 2, 3; m = 1, 2, 3, 4, 5$$

## ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS COSTOS TOTALES (TCR) Y NIVEL DE SERVICIO (NSR).

### Supuestos del Modelo

Basados en la prueba grafica de los residuos para la variable de respuesta TCR, se observa que la distribución normal ajusta bien los datos de los residuos.

Gráfica de Probabilidad Normal para RESIDUOS TCR

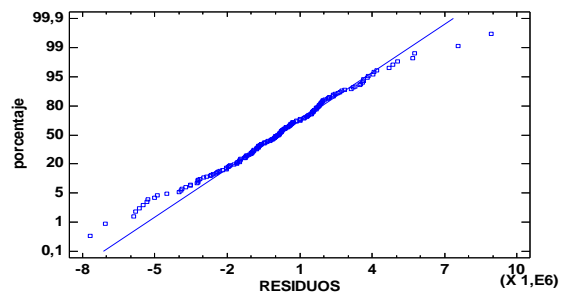


Fig. 6. Normalidad para residuos TCR.

En la Figura 6 y 7 se observa el comportamiento de los residuos de la variable TCR y NSR, los cuales se distribuyen normalmente muy a pesar de algunos datos atípicos.

Gráfica de Probabilidad Normal para RESIDUOS(NSR)

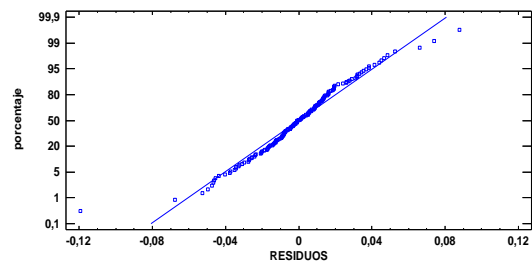


Fig. 7 Normalidad para residuos NSR

Para el supuesto de varianza constante, en la gráfica de predichos y residuos, (Vea la figura 8 y 9) se toma como señal que para las variables de respuesta TCR Y NSR, se cumple

<sup>2</sup> Guijarro, Cardós, & Babiloni, (2011).

con el supuesto de que los tratamientos presentan igual varianza.

## VII. RESULTADOS.

### Análisis de medias para el factor Lead Time (LT) y la variable de respuesta Costos Totales (TCR) y Nivel de Servicio (NSR).

De los resultados del análisis de varianza para la variable de respuesta TCR y NSR y paralelamente a la gráfica de medias de la Figura 11 y 12, se rechaza la Hipótesis nula para el factor LT, y se acepta la hipótesis alternativa para todo, exceptuando que para la variable de respuesta NSR en el contraste LT0 y LT1, no se presentan diferencias significativas (Vea la figura 13). Por consiguiente, existe un impacto significativo por cambio de nivel del factor Lead Time, sobre los Costos Totales y el Nivel de servicio, para un nivel de confianza del 95%. Se puede observar también que el Costo Total (TCR) se incrementa cuando el Lead Time opera en un nivel alto (LT2), para este caso cuando el Stroke de transporte, tiene una demora igual a dos (2) periodos. De manera similar, el TCR disminuye en la medida que el tiempo de entrega cambia del nivel LT1 a LT0 periodos.

Si la tendencia de una disminución o incremento en los costos totales por cambio operados en el LT, se mantiene, se infiere entonces, que en la medida en que el tiempo de entrega (LT) se hace mayor, los Costos Totales se incrementan.

Por otro lado, el TCR disminuye para la estructura del producto-1(EP1), (ver figura 13), esto es una estructura pura de ensamble, presentando un mejor comportamiento en los Costos Totales, cuando el Tiempo de entrega pasa de LT2 al nivel LT0, para este caso, cuando los tiempos de entrega por parte del proveedor pasan de una demora de dos a cero periodos.

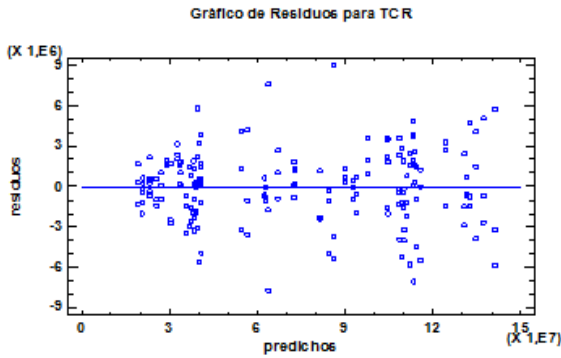


Fig. 8. Gráfica predichos Vs residuos para varianza constante, TCR

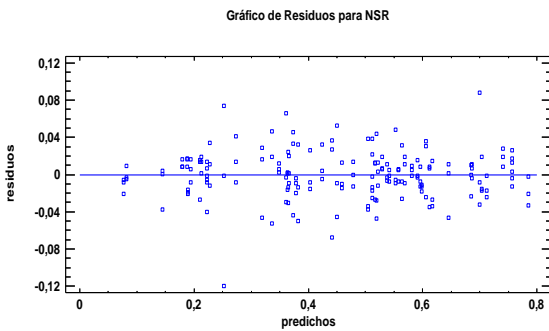


Fig. 9. Gráfica predichos Vs residuos para varianza constante, TCR

Paralelamente en la figura 10 y 11 no se observa para la prueba de independencia patrón o tendencia alguna para TCR y NSR. Por consiguiente, se puede inferir que los datos de las variables son independientes.

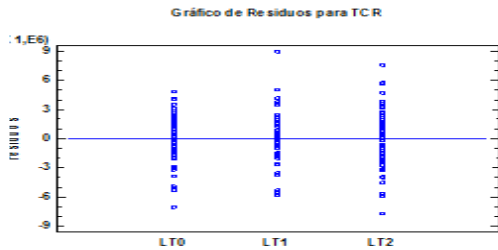


Fig. 10. Orden de los datos contra residuos para, TCR.

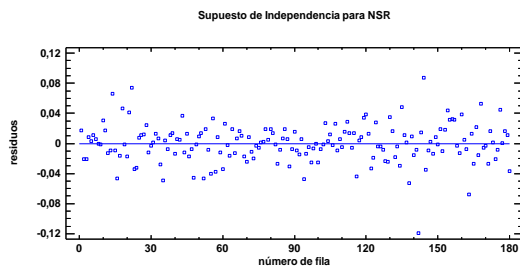


Fig. 11. Orden de los datos contra residuos para, NSR

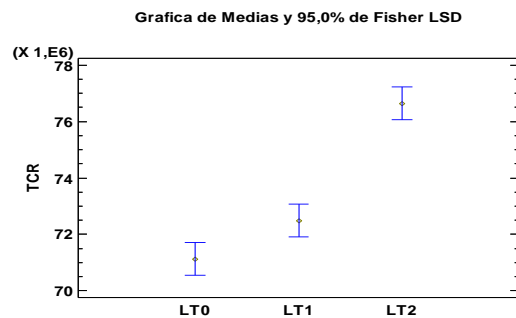


Fig. 12. Análisis de Medias para TCR

Por otro lado, el TCR disminuye para la estructura del producto-1(EP1), (vea la figura 12), esto es una estructura pura de ensamble, presentando un mejor comportamiento en los Costos Totales, cuando el Tiempo de entrega pasa de LT2 al nivel LT0, para este caso cuando el tiempo de entrega por parte del proveedor pasan de una demora de dos a cero periodos. (Vea las figuras 13 y 14).

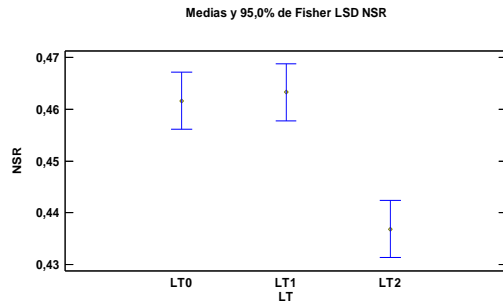


Fig. 13. Análisis de Medias para NSR

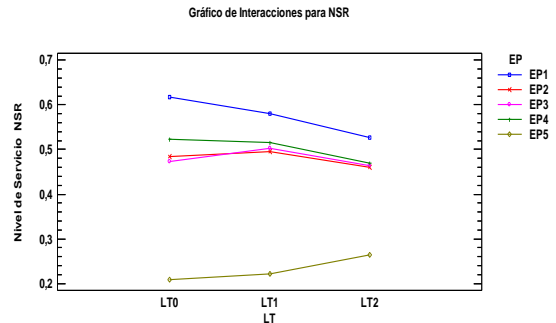


Fig. 16. Interacciones entre LT y EP, para la variable "Nivel de Servicio"

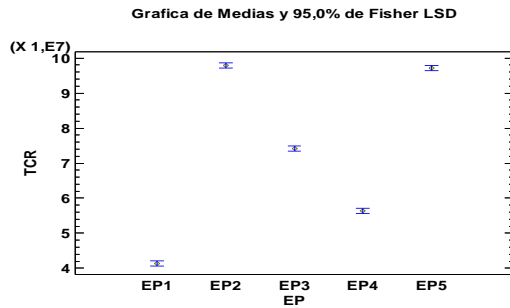


Fig. 14. Análisis de Medias para NSR

Por otro lado, el mejor nivel de servicio se observa en la Estructura del Producto-1 (EP1), cuando el LT es bajo, pero en la medida en que el tiempo de entrega se incrementa o cambia del nivel LT0 a LT2, el Nivel de Servicio disminuye paulatinamente para EP1 y el resto de las estructuras (Vea las Figuras 16 y 17).

### Interacciones para el factor Lead Time (LT) y Estructura del producto sobre los TCR.

De acuerdo a la significancia de los factores Lead Time (LT), y la Estructura del Producto (EP) y el efecto de interacción (AB), resulta ser ampliamente significativo para la variable de respuesta TCR, el costo más bajo se presenta para la estructura EP1 (pura de ensamble) con incrementos del 18,2 % en los TCR, cuando se pasa de una entrega justo a tiempo (LT0) a una entrega de dos periodos (LT2).

El costo más alto se observa para la estructura del producto EP2, y la estructura EP5, con incrementos hasta del 10,4%, también cuando el Lead Time pasa de entregas de LT0 a LT2. (Vea la Figura 15).

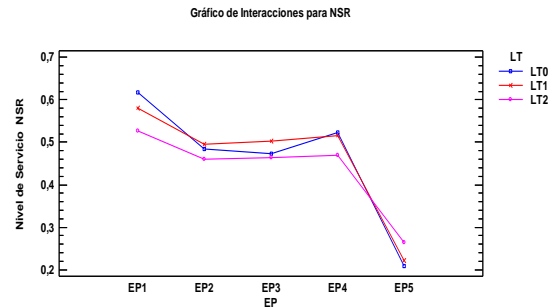


Fig. 17. Interacciones entre EP y LT, para la variable "Nivel de Servicio"

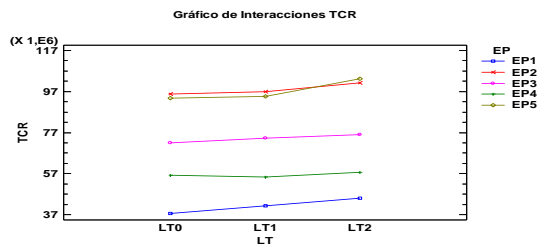


Fig. 15. Interacciones entre LT y EP, para la variable "Costos Totales"

### Interacciones dobles para los factores EP y LT y la variable de respuesta NSR.

Estadísticamente resulta significativa la interacción del Lead Time (LT) y la Estructura del Producto (EP), con un *valor-p* de 0,0000, menor que el nivel de significancia prefijado (Vea la Figura 16).

## CONCLUSIONES.

1. Las fluctuaciones de los Lead Time, por parte de los proveedores, si tiene un impacto significativo en los Costos Totales de la cadena de suministros (TCR). Confirmados por los costos de inventario, costos de faltantes, los costos de Stroke de producción y los costos de setup.
2. Igualmente, las variaciones del Lead Time si tienen un impacto significativo sobre el Nivel de Servicio. Esto implica que cualquier cambio en los tiempos de entrega de cero a dos periodos afecta el Nivel de servicio de la Cadena de abastecimiento.
3. Se puede concluir también que el sistema presenta un mejor nivel de servicio cuanto el Lead Time, o la respuesta por parte de los proveedores se realiza justo a tiempo.



4. Cuando las órdenes de pedidos de materiales se realizan justo a tiempo, esto es, el tiempo de entrega se reduce a cero periodos, los Costos Totales del sistema tienden a disminuir, pero en la medida en que el tiempo de entrega se incrementa los costos totales del sistema también tienden a elevarse.
5. La estructura que presenta mejor comportamiento en cuanto a los costos totales es la estructura EP1 (estructura pura de ensamble), paralelamente los costos más altos se reflejan en la estructura de productos EP2 (estructura de ensamble y proceso) y EP5 (estructura pura de proceso).
6. Cuando los tiempos de entrega varían de LT2 a LT0, trae consigo un incremento en los Costos Totales (TCR), tienen un impacto positivo en el nivel de servicio, cabe señalar que trae consigo una mejora significativa en el indicador cuando el Lead Time se realiza justo a tiempo (LT0).
7. Las estructuras puras de ensamble (EP1), reflejan mejor comportamiento en cuanto a los niveles de servicio, cuando el tiempo de entrega o lead time disminuye a cero periodos o la entrega de materiales se realizan justo a tiempo.
8. El Nivel de servicio más bajo se ocasiona cuando se opera con la estructura EP5, o estructura pura de proceso, para cualquiera que se la forma de responder e independiente a los tiempos de entrega. Sin embargo, para las estructuras EP2, EP3, Y EP4, independiente al tiempo de entrega, presentan resultados muy similares.

#### REFERENCIAS

- [1] Asad Rami, & Demirli Kudret (2010). Production scheduling in steel rolling mills with demand substitution. Rolling horizon implementation and approximations. Consultado en 11, 28, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- [2] Blackburn, J. D., Kropp, D. H., & Millen, R. A. (1986). Comparisons of strategies to dampen nervousness in MRP systems. Management Science.
- [3] Blackburn, J., Kropp, D., & Millen, R. (1985). MRP System nervousness: causes and cures. Engineering Costs and Production Economics, 141-146.
- [4] Bjork, K.-M., & Carlsson, C. (2007). The effect of flexible lead times on a paper producer. Elsevier Int. J. Production Economics 107, 139-150. Consultado en 06, 27, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- [5] Bozarth Cecil, Warsing D., & Flynn B. (2007). The impact of supply chain complexity on manufacturing plant performance. Journal of Operations Management 27 (2009) 78-93. Consultado en 10, 10, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- [6] Bredstom, D., y Ronnqvist, P. (2010). A new method for robustness in rolling horizon planning - A numerical study. Int. J. Production Economics. 12 de abril de 2012 desde la base de datos Science Direct.
- [7] Calderón Lama, J. L. (2011). Planificación Táctica de las Operaciones en Cadenas de Suministro de respuesta rápida, con estructura alternativa de procesos: Modelado Matemático, Implementación y Experimentación. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.
- [8] Chandra Ch. & Grabis J (2006). Inventory management with variable lead-time dependent procurement cost. Omega 36 (2008) 877 - 887. Consultado en 11, 10, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- [9] Chopra, V. S., & Meindl, P. (2006). Supply Chain Management. Strategy Planning & Operation. Prentice Hall.
- [10] De Treville, S., Shapiro, R. & Hameri, A. (2002). 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. Consultado 10, 05, 201, desde la base de datos Science Direct.
- [11] Dimitry, I. a., Boris, S. b., & Joachim, K. (10 de Enero de 2009). A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations control with structure dynamics considerations. (S. Direc, Ed.) European Journal of Operational Research, 409-420.
- [12] Erkan Kabak, K., & Ornek, A. M. (2009). An improved metric for measuring multi-item multi-level schedule instability under rolling schedules. Computers & Industrial Engineering, 691-707.
- [13] Fang, X., Zhang, C., Robb, D. j., & Blackburn, J. (2012). Decision support for lead time and demand variability reduction. Omega, 390-396.
- [14] Li, Y., Xu, X., & Ye, F. (2011). Supply chain coordination model with controllable lead time and service level constraint. El Sevier, Computers & Industrial Engineering 61, 858-864.
- [15] Lindsley & Blackburn, (1991). Time and product variety competition in the book distribution industry. El Sevier, Journal of Operations Management, 344-362. Consultado en 06, 29, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- [16] Maheut & García-Sabater, 2011. La Matriz de Operaciones y Materiales y la Matriz de Operaciones y Recursos, un nuevo enfoque para resolver el problema GMOP basado en el concepto del Stroke. Departamento de Organización de empresas. Universitat Politècnica de Valencia. Dirección y Organización, Núm. 45 Diciembre de 2011. Consultado en 03, 20, 2012, desde la base de datos Science Direct.

- [17] Maheut, J., (2010). Revisión de la literatura sobre la flexibilidad de decisión operacional. Working Papers on Operations Management Vol 2, N° 1 (39-48). Consultado en 04, 30, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- [18] Maheut J., Sabater J., (2010). La Matriz de Operaciones y Materiales y la Matriz de Operaciones y Recursos, un nuevo enfoque para resolver el problema GMOP basado en el concepto del Stroke. Consultado en 04, 27, 2012. Departamento de Organización de empresas. Universitat Politècnica de Valencia. Dirección y Organización, Núm. 45 Diciembre de 2011. Consultado en 04, 27, 2012.
- [19] Miranda, F., Rubio, S., Chamorro, A., & Bañegil, T. (2005). Manual de dirección de. Editorial Thomson.
- [20] M.K, O., & J.A, B. (2009). Revising the master production schedule in a HPP framework context. (N. 2. Vol. 47, Ed.) International Journal of Production Research.
- [21] "Mula Bru Josefa, & Poler Escoto Raúl (2002). Modelos y Métodos para la Planificación de la producción de la cadena de suministro bajo incertidumbre. Consultado en 11, 25, 2011 en <http://www.sciencedirect.com/>.
- [22] Mohebbi, E., & Choobineh, F. (2004). The impact of component commonality in an assemble-to-order environment under supply and demand uncertainty (Vol. Omega 33 ). (S. Direct, Ed.) Nebraska-Lincoln: El Sevier.
- [23] Nepal B., Monplaisir L., y Famuyiwa O. (2010) Matching product architecture with supply chain design. Consultado en 03, 24, 2012. European Journal of Operational Research 216 (2012) 312–325. Consultado en 03, 20, 2012 desde la base de datos Science Direct.
- [24] Orcuna S., Uzsoyb R., & Kempfc K. (2008). An integrated production planning model with load-dependent lead-times and safety stocks. Computers and Chemical Engineering 33 (2009) 2159–2163. Consultado en 10, 20, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- [25] Ozturk, A., Kayalýgil S., & Ozdemirel, N., (2005). Manufacturing lead time estimation using data mining. European Journal of Operational Research 173 (2006) 683–700. Consultado en 11, 20, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- [26] Petrovic D., Roy R., & Petrovic R. (1998). Modeling and Simulation of a Supply Chain in an Uncertain Environment, European Journal of Operational Research, 109, 2, pp. 299-309. Consultado en 11, 10, 2011 en [Http://www.sciencedirect.com/](http://www.sciencedirect.com/).
- [27] Prasad, P., & Krishnaiyah, C. (2001). Multilevel Lot Sizing with a Genetic Algorithm under Fixed and Rolling Horizons. Advanced Manufacturing Technology (Manufacturing Engineering Section, Indian Institute of Technology Madras, Chennai, India, 520-527. Consultado 30 de Septiembre de 2012 desde la base de datos Science Direct
- [28] Pujawan, N. ((2004).). Schedule nervousness in a manufacturing system: a case study. Production Planning and Control, , 15(5), 515–524.
- [29] Sarker, B. R., & Coates, E. R. (1997). Manufacturing setup cost reduction under variable lead times and finite opportunities for investment. Int. J. Production Economics, 49 (1997) 237-247. Consultado en 03, 20, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- [30] Sanajian, N., & Balcioğlu, B. (2009). The impact of production time variability on make-to-stock queue performance. European Journal of Operational Research 194, 847–855. Consultado en 11, 28, 2011, desde la base de datos Science Direct.
- [31] Selcuk B., Fransoo J. & De Kok A. (2004). The effect of updating lead times on the performance of hierarchical planning systems. Int. J. Production Economics 104 (2006) 427–440. Consultado en 01, 08, 2012, desde la base de datos Science Direct.
- [32] Sivadasan, S., Efstathiou, J., & Calinescu, A. (2004). Advances on measuring the operational complexity of supplier–customer systems. (E. J. Research, Ed.) Science Direct, 171, 208–226.
- [33] M. King, B. Zhu, and S. Tang, “Optimal path planning,” *Mobile Robots*, vol. 8, no. 2, pp. 520-531, March 2001.
- [34] H. Simpson, *Dumb Robots*, 3<sup>rd</sup> ed., Springfield: UOS Press, 2004, pp.6-9.
- [35] M. King and B. Zhu, “Gaming strategies,” in Path Planning to the West, vol. II, S. Tang and M. King, Eds. Xian: Jiaoda Press, 1998, pp. 158-176.
- [36] B. Simpson, et al, “Title of paper goes here if known,” unpublished.
- [37] J.-G. Lu, “Title of paper with only the first word capitalized,” *J. Name Stand. Abbrev.*, in press.
- [38] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” *IEEE Translated J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [*Digest 9<sup>th</sup> Annual Conf. Magnetics Japan*, p. 301, 1982].
- [39] M. Young, *The Technical Writer's Handbook*, Mill Valley, CA: University Science, 1989.