

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA A LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN DE PRONÓSTICOS Y
PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA GRIFERÍA Y COMPLEMENTOS CORONA,
USANDO MODELOS CUANTITATIVOS**

JUAN DIEGO ATEHORTÚA URQUIJO



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.
2013**

**DISEÑO DE UNA PROPUESTA DE MEJORA A LOS SISTEMAS DE GENERACIÓN DE PRONÓSTICOS Y
PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN LA EMPRESA GRIFERÍA Y COMPLEMENTOS CORONA,
USANDO MODELOS CUANTITATIVOS**

JUAN DIEGO ATEHORTÚA URQUIJO

**Trabajo de grado para optar por el título de
INGENIERO INDUSTRIAL**

**Director
CARLOS ALBERTO BULA GAZABÓN
Ingeniero Industrial**



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL
BOGOTÁ D.C.
2013**

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO I. GENERALIDADES | 1 |
| 1. Introducción..... | 1 |
| 2. Objetivos | 3 |
| 2.1. Objetivo general..... | 3 |
| 2.2. Objetivos específicos..... | 3 |
| 3. Marco teórico..... | 4 |
| 3.1. Administración y pronósticos de la demanda..... | 4 |
| 3.2. Programación de la producción | 19 |
| 4. Justificación..... | 29 |
| CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO | 30 |
| 1. Antecedentes | 30 |
| 2. Proceso actual..... | 32 |
| 3. Planteamiento del problema | 34 |
| CAPÍTULO III. PRONÓSTICOS..... | 38 |
| 1. Antecedentes | 38 |
| 2. Recolección de datos | 41 |
| 3. Priorización | 41 |
| 4. Modelo propuesto para la generación de pronósticos..... | 46 |
| 5. Análisis del modelo | 46 |
| 5.1. Análisis ARIMA por referencia | 46 |
| 5.2. Análisis de la información | 54 |
| 5.3. Desarrollo del modelo..... | 56 |
| 6. Propuesta de políticas de uso | 57 |
| 6.1. Ciclo colaborativo..... | 57 |
| 6.2. Uso del programa..... | 58 |
| 6.3. Errores en los pronósticos | 59 |
| 6.4. Políticas de cambio de modelos..... | 60 |
| 6.5. Capacitación..... | 61 |

| | |
|--|-----|
| CAPÍTULO IV. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN..... | 62 |
| 1. Antecedentes | 62 |
| 2. Priorización | 64 |
| 3. Modelo propuesto | 66 |
| 4. Análisis del modelo | 67 |
| 4.1. Desarrollo de modelo..... | 67 |
| 4.2. Recolección de datos | 68 |
| 4.3. Método de solución | 68 |
| 4.4. Aplicación y análisis del modelo | 72 |
| 5. Impacto del modelo | 75 |
| 5.1. Resultados..... | 76 |
| 6. Propuesta de Políticas de uso | 76 |
| 6.1. Uso del programa..... | 77 |
| 6.2. Políticas de cambio de secuencia..... | 77 |
| 6.3. Capacitación..... | 78 |
| CAPÍTULO V. EVALUACIÓN ECONÓMICA | 80 |
| 1. Pronósticos..... | 80 |
| 1.1. Costos de almacenamiento..... | 80 |
| 1.2. Costos de abastecimiento | 83 |
| 1.3. Análisis de datos | 83 |
| 2. Programación de la producción | 88 |
| 3. Evaluación económica conjunta de la propuesta | 90 |
| 3.1. Software | 91 |
| 3.2. Evaluación financiera | 92 |
| CONCLUSIONES | 94 |
| RECOMENDACIONES..... | 97 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 98 |
| ANEXOS | 101 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Serie de tiempo con tendencia creciente | 6 |
| Figura 2. Serie de tiempo con tendencia decreciente | 7 |
| Figura 3. Serie de tiempo con tendencia estacionaria..... | 7 |
| Figura 4. Serie de tiempo con tendencia cíclica..... | 7 |
| Figura 5. Diagrama de flujo de la estrategia de construcción del modelo Box-Jenkins | 12 |
| Figura 6. Gráficas de Autocorrelaciones para modelos AR (1) | 15 |
| Figura 7. Gráficas de Autocorrelaciones para modelos AR (2) | 15 |
| Figura 8. Gráficas de Autocorrelaciones para modelos MA (1) | 16 |
| Figura 10. Gráficas de Autocorrelaciones para modelos ARMA (1,1)..... | 17 |
| Figura 11. Técnicas de optimización utilizadas para resolver el problema de la minimización de la tardanza total ponderada | 23 |
| Figura 12. Proceso de generación del PVO mensual | 33 |
| Figura 13. Diagrama del proceso de generación de pronósticos en la empresa Grifería y Complementos Corona a partir de datos históricos..... | 38 |
| Figura 14. Diagrama del proceso de generación de pronósticos en la empresa Grifería y Complementos Corona | 39 |
| Figura 15. Diagrama del proceso de consenso en la generación de pronósticos en la empresa Grifería y Complementos Corona | 40 |
| Figura 16. Diagrama de Pareto para la facturación por línea de negocio | 42 |
| Figura 17. Diagrama de Pareto sobre Pareto de las referencias seleccionadas de la línea de baños y cocinas | 43 |
| Figura 18. Diagrama de Pareto para la facturación del total de referencias de la línea de baños y cocinas. | 44 |
| Figura 19. Diagrama propuesto para la generación de pronósticos con metodología ARIMA | 59 |
| Figura 20. Proceso actual de programación de la producción en Grifería y Complementos Corona | 63 |

| | |
|---|----|
| Figura 21. Diagrama de Pareto de la facturación pendiente por mini-fábrica | 64 |
| Figura 22. Diagrama de Pareto de la facturación total por mini-fábrica | 65 |
| Figura 23. Diagrama de Pareto de las unidades ensambladas por línea de mini-fábrica de Duchas | 66 |
| Figura 24. Diagrama propuesto para la programación de la producción según modelo de Minimización de la Tardanza Total Ponderada a través de GRASP | 77 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Comportamientos de las autocorrelaciones según modelo ARIMA | 17 |
| Tabla 2. Resultados obtenidos mediante la aplicación de la meta-heurística de GRASP al problema de la minimización de la tardanza total ponderada en una máquina | 27 |
| Tabla 3. Referencias de PT por mini-fábrica en Grifería y Complementos Corona | 32 |
| Tabla 4. Promedio del MAD agrupado por mini-fábrica..... | 34 |
| Tabla 5. Promedio de las desviaciones del MAD agrupadas por mini-fábrica..... | 35 |
| Tabla 6. Valores de facturación pendiente por mini-fábrica | 36 |
| Tabla 7. Facturación por línea de negocio | 42 |
| Tabla 8. Referencias seleccionadas para el análisis | 45 |
| Tabla 9. Análisis para referencia 414120001 | 49 |
| Tabla 10. Análisis para referencia 380140001..... | 51 |
| Tabla 11. Análisis para referencia 414130001..... | 54 |
| Tabla 12. Impacto del modelo de generación de pronósticos ARIMA para todas las referencias ... | 55 |
| Tabla 13. Orden de ensamble propuesto de las órdenes de producción para la semana del 15 al 21 de Octubre de 2012 | 73 |
| Tabla 14. Programación de la producción propuesta para la semana del 15 al 21 de Octubre de 2012 | 74 |
| Tabla 15. Resultados del modelo para diferente número de iteraciones | 75 |
| Tabla 16. Diferencias en la facturación semanal según tipo de programación..... | 76 |
| Tabla 17. Cálculo valor inventario promedio..... | 80 |
| Tabla 18. Costos de mantenimiento del inventario de Materias Primas..... | 81 |
| Tabla 19. Costos de nómina del inventario de Materias Primas | 82 |
| Tabla 20. Costos de depreciación del inventario de Materias Primas..... | 82 |

| | |
|---|----|
| Tabla 21. Costos totales del inventario de Materias Primas | 82 |
| Tabla 22. Costos de abastecimiento local..... | 83 |
| Tabla 23. Resultados de la mejora en los pronósticos a través de la metodología ARIMA..... | 85 |
| Tabla 24. Ahorros en compras de MP y almacenamiento | 86 |
| Tabla 25. Ahorros en costos de abastecimiento | 87 |
| Tabla 26. Consolidado de ahorros | 87 |
| Tabla 27. Impacto económico obtenido por el nuevo sistema de programación de la producción | 88 |
| Tabla 28. Costo de oportunidad semanal con facturación propuesta..... | 89 |
| Tabla 29. Costo de oportunidad estimado de todas las mini-fábricas de Grifería y Complementos Corona..... | 90 |
| Tabla 30. Ahorros estimados según escenarios optimista, normal y pesimista | 90 |
| Tabla 31. Costos de oportunidad estimados según escenarios optimista, normal y pesimista | 91 |
| Tabla 32. Inversión en Software | 92 |
| Tabla 33. Inversión en Servicios Complementarios | 93 |
| Tabla 34. Evaluación del proyecto para los tres escenarios | 93 |

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

1. Introducción

El sector de la construcción en Colombia ha presentado un crecimiento constante en los últimos años, tanto en la construcción de viviendas nuevas como en su remodelación¹. Este fenómeno genera incrementos en la demanda de materiales para la construcción y remodelación de las viviendas, brindando oportunidades de mejora dentro del sector e incrementando la cantidad de clientes potenciales para las diferentes empresas dedicadas al negocio. Dentro de este grupo se encuentra la empresa Grifería y Complementos Corona.

Un crecimiento dentro del sector de la construcción no sólo implica un incremento en la demanda, sino un incremento en la exigencia de los clientes. Esta situación requiere un mejoramiento en la productividad de las empresas, haciendo necesario contar con un buen funcionamiento en su interior. Esto se ve reflejado a través de una buena gestión de la cadena de suministros, en donde el proceso de planeación de la producción es un eslabón fundamental para el correcto funcionamiento del sistema.

La planeación estratégica de una empresa es su norte, y si es realizada a conciencia, es la clave del éxito. Esta planeación se debe realizar con base en hechos históricos y con base en el análisis del sector en el cual se compite, teniendo como base herramientas que soporten el análisis de los datos. Las herramientas contribuyen al proceso generando cifras confiables que permiten la toma de decisiones acertadas en las diferentes áreas de la empresa. Actualmente, las empresas necesitan sistemas de planeación eficientes que abarquen todos los procesos del mismo, desde su entrada hasta su salida, teniendo en cuenta el enfoque sistémico de la planeación.

En la empresa Grifería y Complementos Corona se realizó un diagnóstico exhaustivo del proceso de planeación de la producción, fundamental para un excelente desempeño organizacional. Se encontraron dos procesos críticos: la planeación de la demanda y la programación de la producción, derivando en problemas como el alto valor de los errores de los pronósticos y la gran cantidad de pedidos pendientes por manufacturar. Estos dos hechos demuestran que el problema de Grifería y Complementos Corona no es la falta de demanda sino la falta de planeación, en donde los procesos de generación de pronósticos y programación de la producción juegan un papel fundamental a la hora de mejorar el desempeño de la empresa.

A partir del diagnóstico y análisis realizado, y con base en la fundamentación teórica de los métodos cuantitativos, se desarrollaron dos herramientas para la empresa con base en sus necesidades y requerimientos. La metodología participativa dice que no solo basta con desarrollar

¹ DANE. Indicadores económicos alrededor de la construcción - I trimestre de 2012. <En línea>. Consultado el 12 de Agosto de 2012. Disponible en <http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/cp_ieac__ltrim12.pdf>.

una herramienta o una propuesta de mejora, sino que se debe incluir al personal dentro del proceso y hacer que se apropie del mismo². Por esta razón el alcance de este trabajo no solamente se limita al desarrollo de las herramientas propuestas para la mejora, sino que va más allá y las incluye dentro del marco del ciclo colaborativo de la empresa a través de políticas de uso y capacitación para el personal.

Por último, se realizó el respectivo análisis económico del proyecto, demostrando que este es viable y puede generar gran impacto a nivel corporativo si se replica en cada una de las unidades de negocio de la compañía Corona.

² RAMIREZ, María Catalina, *et. al.* Participative Methodology for Local Development. Springer: Science+ Business Media: 2010. 22 p.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Diseñar una propuesta de mejora a los sistemas actuales de generación de pronósticos y programación de la producción en la empresa Grifería y Complementos Corona, usando modelos cuantitativos, que permitan mejorar el desempeño de la misma.

2.2. Objetivos específicos

- Generar una propuesta de mejora al sistema actual de generación de pronósticos en la línea de negocio de Baños, a través de modelos matemáticos, que permita determinar el mejor modelo para las referencias más relevantes de dicha línea.
- Diseñar un modelo de optimización que permita realizar la programación de la producción de las líneas de ensamble de la mini-fábrica de Duchas Mezcladoras, cuyo propósito sea brindar un mayor horizonte de tiempo en la planeación y garantizar el uso óptimo de recursos.
- Realizar una evaluación económica a las propuestas planteadas, a través de indicadores financieros, de manera que sirvan para determinar el impacto generado por las mismas dentro de la empresa y la viabilidad de implementación de la propuesta.

3. Marco teórico

Uno de los principales objetivos de las empresas es satisfacer las necesidades de sus clientes, y una de las formas de lograrlo es a través de una excelente gestión en la cadena de suministros. Garantizar que el cliente reciba lo que quiere, cuando lo quiere y en las condiciones que lo requiere demuestra un buen funcionamiento al interior de la empresa y una buena gestión de sus recursos³.

Dentro de la planeación de la cadena de suministros se encuentra el proceso de administración de la demanda, en donde la generación de pronósticos nace de la necesidad de las empresas por tener un marco de referencia para poder realizar la planeación de sus operaciones a largo plazo. Las técnicas de generación de pronósticos datan desde el siglo XIX, recorriendo técnicas cuantitativas y cualitativas que pretenden inferir valores futuros a partir de datos históricos y factores externos a la empresa, sin garantizar que estos se ajustaran a la realidad⁴. Determinar la demanda aproximada en periodos de tiempo futuros garantiza una mejor planeación y control de los recursos al interior de las empresas.

Por otro lado, dentro de la planeación de la producción, la programación entra a jugar un papel determinante en el nivel de satisfacción de los clientes, debido a que esta es la herramienta que ayuda en la toma de decisiones a nivel operativo dentro de las empresas. Decidir qué se produce, cuándo se produce y en qué condiciones se va a producir es un determinante fundamental para la programación de los recursos, la facturación de la empresa y la satisfacción de sus clientes. Si se cuenta con una programación de la producción eficiente, la empresa deja de operar de forma reactiva en el día a día y comienza a tener un mayor control y habilidad de reacción frente a los diversos cambios que surgen a lo largo del tiempo⁵. La clave del éxito está en la planeación y programación de las operaciones.

3.1. Administración y pronósticos de la demanda

*“El pronóstico es la base de la planeación corporativa a largo plazo”*⁶. Se parte de este hecho para demostrar la importancia de contar con un buen sistema de generación de pronósticos y administración de la demanda. La salida de un sistema depende en gran medida de la calidad de la entrada al mismo, y teniendo en cuenta que la clave del éxito está en la planeación, se debe asegurar que sus entradas sean lo más exactas posibles para garantizar una buena asignación de los recursos dentro de las empresas.

Si se desea tener una buena gestión sobre la generación de pronósticos, primero hay que saber clasificar la demanda. A finales de la década de los años 60, Joseph Orlicky clasificó la demanda

³CHASE, Richard B.; JACOBS, F. Robert y AQUILANO, Nicholas. Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros. 12 Ed. México: McGraw Hill, 2009. p 384.

⁴HANKE, Jhon E. y WICHERN, Dean W. Pronósticos en los negocios. 8 Ed. México: Prentice Hall, 2006. 535p.

⁵PROUD, John F. Master Scheduling: A practical guide to competitive manufacturing. 3 Ed. New Jersey: Wiley, 2007. 657 p.

⁶CHASE, Richard B.; JACOBS, F. Robert y AQUILANO, Nicholas. Op. cit., p. 468.

como dependiente e independiente, para posteriormente plasmar sus conocimientos en el libro "*Orlicky's Material Requirements Planning*"⁷. La demanda dependiente corresponde a la demanda que, como su nombre lo indica, se da con base en la demanda de otros productos o servicios, mientras que la demanda independiente es la que viene directamente del mercado. La demanda dependiente hay que satisfacerla para así poder cumplir con los requerimientos de los clientes y garantizar su satisfacción, mientras que para responder ante la demanda independiente se cuenta con dos posiciones⁸:

- Adoptar una actitud influyente sobre el mercado, para aumentar o reducir la demanda
- Adoptar una actitud pasiva para responder ante la demanda y sus variaciones

Para poder responder ante la demanda y sus variaciones, es fundamental contar con una metodología de generación de pronósticos de la demanda adecuada.

3.1.1. Clasificación de los pronósticos de la demanda

Se pueden tener diferentes tipos de pronósticos con base en el horizonte de tiempo para el cual se pronostique y la metodología que se utilice. Para generar un pronóstico de la demanda completo y riguroso, se debe tener en cuenta la interacción de los diferentes tipos de pronósticos, que tengan en cuenta una base estadística, pero que también tengan en cuenta factores externos a la empresa y tendencias del mercado, que permitan tomar decisiones estratégicas dentro de la empresa.

3.1.1.1. Clasificación por horizonte de tiempo

Los pronósticos se pueden clasificar en pronósticos de corto, mediano o largo plazo, dependiendo del número de periodos hacia adelante que se puedan predecir, la metodología, su complejidad, y el uso que se le vaya a dar al mismo. Los pronósticos a largo plazo se generan para tener un marco estratégico de decisión, mientras que los pronósticos a corto plazo sirven dentro de la planeación táctica y operativa de las compañías.

3.1.2. Modelos Cualitativos

Métodos de pronóstico que son un complemento a los modelos cuantitativos. No tienen fundamento estadístico y tratan de predecir el valor futuro de un periodo a partir de opiniones de expertos, investigaciones de mercado o mediante consensos. Dentro de los modelos cualitativos se tienen las siguientes metodologías:

- **Método Delphi:** Grupo de consenso en el cual, debido a la diferencia de jerarquías dentro de las empresas, se oculta la identidad de las personas, y a partir de formularios y reuniones, se logran eventualmente consensos.

⁷ PTAK, Carol A., *et al.* *Orlicky's Material Requirements Planning*. 3 ed. USA: McGraw Hill, 2011. p 488.

⁸CHASE, Richard B.; JACOBS, F. Robert y AQUILANO, Nicholas. *Op. cit.*, p. 468.

- **Investigación de mercados:** recopilación de datos a partir de encuestas y entrevistas, que permiten inferir un comportamiento de compra de los clientes.

3.1.3. Modelos cuantitativos

Los modelos de generación de pronósticos de tipo cuantitativo son los que tienen en cuenta datos históricos de la demanda para generar valores futuro estimados. Para este tipo de modelos es preciso revisar los componentes de los datos, es decir, si presentan alguna tendencia, estacionalidad o ciclo. Así mismo, se debe tener en cuenta el grado de correlación de los datos. Los pronósticos de este tipo se generan a partir de relaciones estadísticas que permiten describir mejor el comportamiento de los datos históricos.

3.1.3.1. Revisión del comportamiento de los datos

Teniendo en cuenta que se debe contar con datos históricos para realizar un pronóstico de tipo cuantitativo, se deben revisar los componentes que les acompañan, dependiendo de la variable a pronosticar. Esto se lleva a cabo a partir de análisis visual de la gráfica de los datos y su comportamiento en el tiempo, así como también con base en pruebas estadísticas que determinen la relación entre los datos. A continuación se analizan las técnicas más utilizadas:

- **Análisis de gráficas**

Al tener una serie de tiempo con periodos asociados, se puede generar una gráfica, de tal modo que se identifiquen los componentes de los datos:

- **Tendencia creciente:** Cuando se observa una tendencia general de los datos a crecer. Por ejemplo, el precio de los automóviles o de los productos alimenticios.

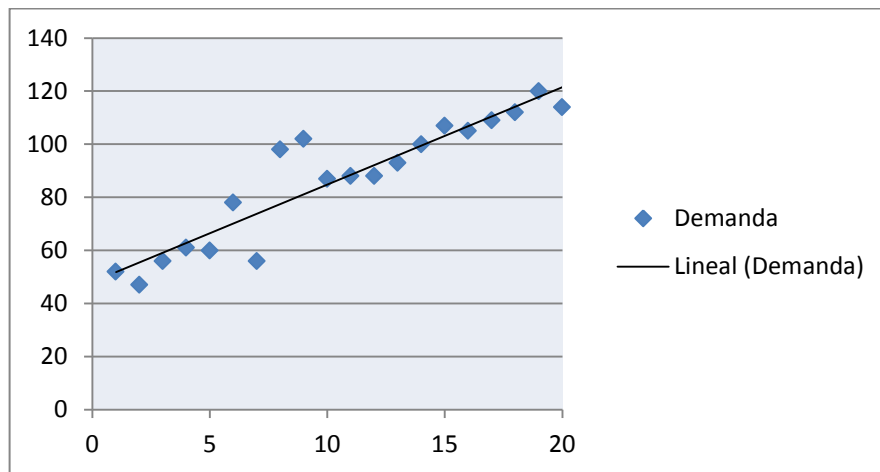


Figura 1. Serie de tiempo con tendencia creciente

- **Tendencia decreciente:** Cuando se observa una tendencia general de los datos a decrecer. Por ejemplo, la demanda de productos en desuso tales como la tecnología obsoleta.

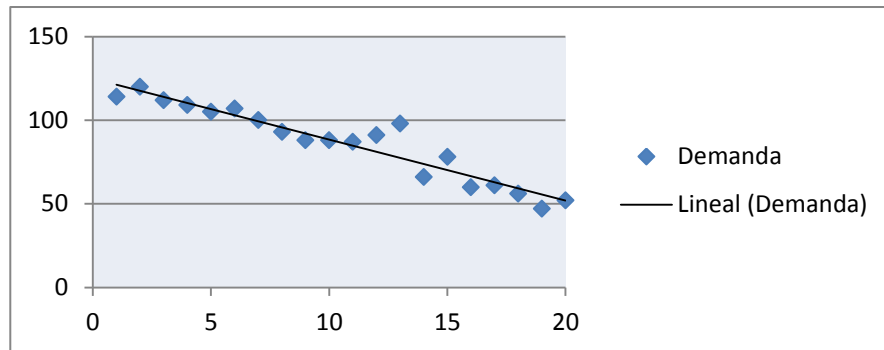


Figura 2. Serie de tiempo con tendencia decreciente

- **Tendencia estacionaria:** Cuando se observa una tendencia general de los datos a variar alrededor de un nivel fijo. Productos de consumo masivo cumplen con estas características.

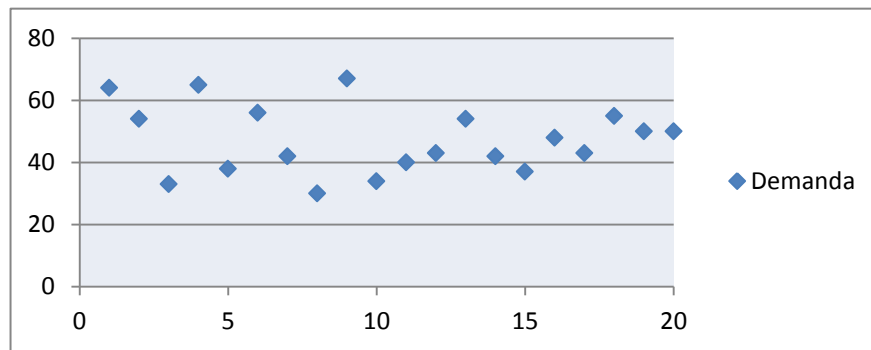


Figura 3. Serie de tiempo con tendencia estacionaria

- **Tendencia cíclica:** Cuando se observa una tendencia general de los datos a crecer o decrecer con respecto al periodo de tiempo. Productos específicos de estaciones o eventos puntuales en el año cumplen con estas características.

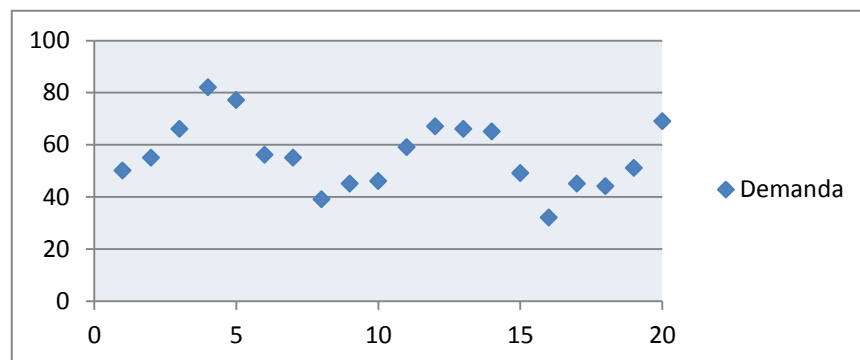


Figura 4. Serie de tiempo con tendencia cíclica

- **Análisis estadístico**

- **Función de Correlación:** mide el grado de dependencia lineal entre dos variables X e Y. Se denota como r y se calcula de la siguiente forma⁹:

$$r = \frac{S_{XY}}{\sqrt{S_X}\sqrt{S_Y}}$$

En donde:

$r =$ Correlación

$S_{XY} =$ Covarianza entre X e Y

$S_X =$ Varianza de X

$S_Y =$ Varianza de Y

- **Función de Autocorrelación Simple:** mide el grado de dependencia lineal entre una misma variable, para diversos periodos de retraso K de la misma. Ésta se calcula de la misma forma de la función de autocorrelación, solo que $Y = X_{t-k}$, donde K es el orden del retraso¹⁰.
- **Función de Autocorrelación Parcial:** mide el grado de dependencia lineal entre una misma variable para diversos periodos de retraso K , sin considerar las autocorrelaciones acumuladas hasta el retraso K . En este orden de ideas, se calcula la Autocorrelación Parcial para el retraso K eliminando el efecto producido por las autocorrelaciones simples para retardos menores a K . Se pueden calcular a través de las ecuaciones de Yule-Walker¹¹, o según la ecuación:

$$r_{k,k} = \frac{r_k - \sum_{j=1}^{k-1} r_{k-j}(r_{k-1,j} - r_k * r_{k-1,k-j})}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} r_j(r_{k-1,j} - r_k * r_{k-1,k-j})}$$

En donde:

$r_{k,k} =$ Autocorrelación para el retraso k, k

$r_k =$ Correlación para el retraso k

A continuación se presentan algunos de los modelos cuantitativos más utilizados dentro del proceso de generación de pronósticos, junto con su respectiva descripción.

⁹ PINEDA, Luis. Métodos y modelos econométricos. 1 Ed. México: Editorial Limusa, 1999. p 38.

¹⁰ *Ibíd.*, p 68.

¹¹ ARMANDO, A. Jaime. Introducción al tratamiento de series temporales. 2 Ed. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1994. 579 p.

3.1.3.2. Promedios móviles

- **Promedio móvil simple:** Metodología que utiliza la media aritmética de los datos históricos para el cálculo del pronóstico del siguiente periodo, a partir de n datos que varían periodo a periodo.

$$F_t = \frac{O_{t-1} + O_{t-2} + \dots + O_{t-n}}{n}$$

En donde:

F_t = Pronóstico del periodo t

$O_{t-1,t-2,\dots,t-n}$ = Valores reales del periodo $t - 1, t - 2, \dots, t - n$

n = Número de periodos

- **Promedios móviles ponderados:** A diferencia de los promedios móviles simples, estos no asignan el mismo peso a cada uno de los datos, sino que asignan una ponderación a cada dato. Esta ponderación es mayor entre más cercanos sean los datos al periodo a pronosticar.

$$F_t = w_1 O_{t-1} + w_2 O_{t-2} + \dots + w_n O_{t-n}$$

En donde:

F_t = Pronóstico del periodo t

$O_{t-1,t-2,\dots,t-n}$ = Valores reales del periodo $t - 1, t - 2, \dots, t - n$

$w_{1,2,\dots,n}$ = Peso asignado al retraso $1, 2, \dots, n$ y $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

n = Número de periodos

3.1.3.3. Suavizaciones exponenciales

- **Suavización exponencial simple:** Utilizada para los datos que no exhiben una clara tendencia ni hacia arriba ni hacia abajo. Lo que hace este modelo es una especie de promedio móvil ponderado, en donde las ponderaciones de los datos más antiguos se van disminuyendo de forma exponencial. En este caso el dato más reciente recibe la mayor ponderación (α). Se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\hat{E}_{t+1} = \alpha E_t + (1 - \alpha) \hat{E}_t$$

En donde:

\hat{E}_{t+1} = Pronóstico del periodo $t + 1$

E_t = Valor real del periodo t

\hat{E}_t = Pronóstico del periodo t

α = Constante de suavización, $0 < \alpha < 1$

- **Suavización exponencial con tendencia:** Algunas veces las series pueden presentar alguna tendencia, y para esto se debe determinar la pendiente o variación aproximada con la que se está dando. Para eso, Holt desarrolló un modelo en el cual se tienen en cuenta las variaciones e incrementos (o disminuciones) de los valores a lo largo del tiempo. Se deben tener en cuenta dos ponderaciones (α y β), para determinar el peso de cada dato y de cada tendencia, respectivamente, para cada periodo. Se calculan a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} P_{t+1} &= \alpha R_t + (1 - \alpha) (P_t + T_t) \\ T_{t+1} &= \beta (P_{t+1} - P_t) + (1 - \beta) T_t \\ P^*_{t+1} &= P_{t+1} + T_{t+1} \end{aligned}$$

En donde:

P_{t+1} = Pronóstico suavizado del periodo $t + 1$

T_{t+1} = Tendencia suavizada del periodo $t + 1$

P^*_{t+1} = Pronóstico del periodo $t + 1$

P_t = Pronóstico suavizado del periodo t

T_t = Tendencia suavizada del periodo t

R_t = Valor real del periodo t

α = Constante de suavización, $0 < \alpha < 1$

β = Constante de suavización, $0 < \beta < 1$

3.1.3.4. Series de tiempo

Las series de tiempo se componen de datos agrupados a lo largo de un determinado periodo, y que a su vez muestran relación entre sí. Para poder realizar un análisis de las mismas, éstas se deben dividir en sus componentes principales, que pueden ser: tendencia, cíclico, estacional o aleatorio. Igualmente, dependiendo de la variabilidad de los datos, se pueden modelar por modelos tanto lineales, como no lineales.

- **Regresión lineal simple:** Lo que pretende es llegar a una ecuación de una línea recta, en la cual se minimice la suma de los cuadrados de las distancias de cada dato histórico a la recta propuesta. De esta forma se puede llegar a hacer un buen pronóstico de la variable dependiente. Hay que tener en cuenta el grado de correlación que tengan los datos, así como el error de la estimación. Si el modelo no se comporta de forma lineal, se puede realizar una transformación de la variable a una exponencial, o logarítmica, para lograr un mejor ajuste a los datos. Se obtiene una ecuación de la forma

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

En donde:

Y = Variable dependiente – Pronóstico

β_0 = Secante de Y

β_1 = Pendiente de la recta

X_1 = Variable independiente – Periodo

- **Regresión lineal múltiple:** Debido a que en la práctica las relaciones no se dan solamente entre dos variables, surge el concepto de regresión múltiple, en donde se necesita más de una variable independiente para poder predecir un valor de una variable dependiente. Así mismo, se debe tener en cuenta la correlación de las variables incluidas para describir el comportamiento de la variable dependiente. Al final se obtiene una ecuación de la forma

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon.$$

En donde:

Y = Variable dependiente

β_0 = Secante de Y

$\beta_{1,2,\dots,n}$ = Influencia de cada variable independiente

$X_{1,2,\dots,n}$ = Variables independientes que describen el modelo

ϵ = Error aleatorio

Los modelos de regresión que se explicaron anteriormente funcionan siempre y cuando se cumpla el supuesto de que los errores, ϵ , son variables aleatorias independientes. Esto quiere decir que los periodos (X 's) están relacionados con las cantidades demandadas (Y 's), pero las cantidades (Y 's) no están relacionadas entre sí¹². Es por esta razón que en las regresiones con datos de series de tiempo se presenta el problema de la autocorrelación.

Una vez se identifica que la serie contiene datos correlacionados, se deben entrar a analizar las variables explicativas del modelo y las causas de la correlación en el mismo. Una metodología para solucionar el problema de la autocorrelación es el de la utilización de modelos autorregresivos para describir la serie de tiempo a partir de valores previos que se presentan en la misma¹³.

3.1.3.5. Metodología Box-Jenkins (ARIMA)

Los modelos ARIMA (*Autoregressive Integrated Moving Average*), o modelos de promedio móvil autorregresivo integrado, son modelos capaces de actuar sobre datos de series de tiempo sin incluir las variables independientes, proyectando un patrón histórico de los datos disponibles. La **Figura 5** muestra la metodología para generar pronósticos a partir de la información propia de los datos de la serie de tiempo.

¹² HANKE, Jhon E. y WICHERN, Dean W. Op. cit., p 327.

¹³ *Ibíd.* p. 345.

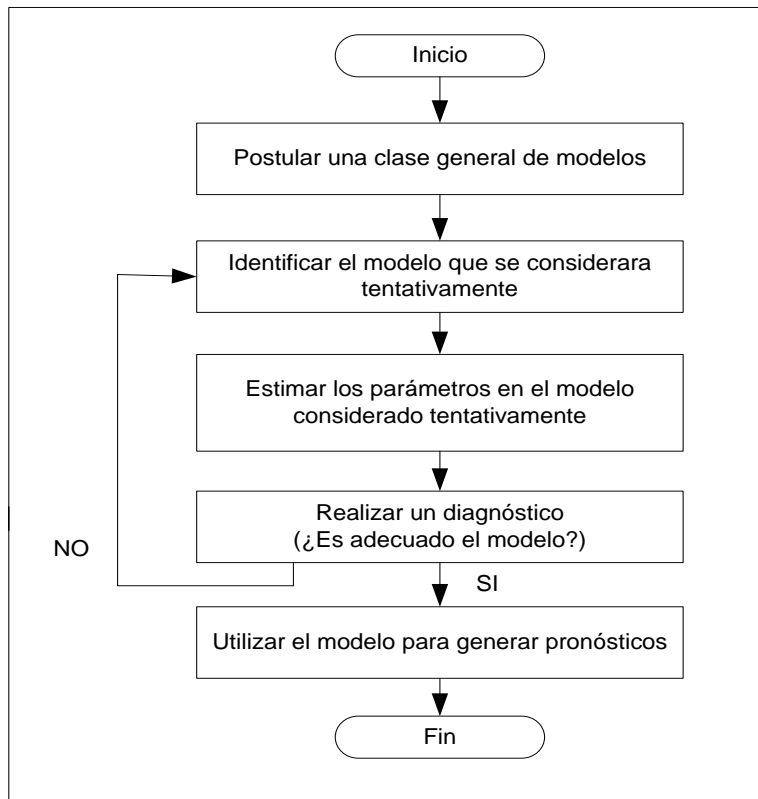


Figura 5. Diagrama de flujo de la estrategia de construcción del modelo Box-Jenkins

Como se puede observar en la figura anterior, la metodología hace uso de un modelo iterativo en donde, a partir de una serie de modelos tentativos disponibles, se escoge uno para realizar el cálculo de los parámetros y su evaluación. La dinámica consiste primero en postular una serie de modelos tentativos. Segundo, a partir de la gráfica de la serie de tiempo y las gráficas de autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales, se identifica el modelo que se va a utilizar tentativamente. Tercero, se estiman los parámetros necesarios para el modelo considerado, y cuarto, se realiza un diagnóstico del modelo a través del estadístico de Ljung-Box Q , que se calcula según la siguiente fórmula.

$$Q_m = n(n + 2) \sum_{k=1}^m \frac{r_k^2(e)}{n - k}$$

En donde:

Q_m = Valor del estadístico de Ljung – Box Q

$r_k(e)$ = Autocorrelación residual en el retraso k

n = Número de residuales

k = Valor del retraso del tiempo

m = Número de retrasos de tiempo que habrán de ser evaluados

Este estadístico se distribuye como una variable aleatoria Chi Cuadrada con $m - r$ grados de libertad, en donde r es el número de parámetros a estimar por el modelo¹⁴.

Si el modelo cumple con las características de ajuste y desvanecimiento de las autocorrelaciones, se utiliza para generar el pronóstico. Si no, se considera otro modelo de los postulados, y se sigue iterando hasta que se llegue al óptimo. Los posibles modelos tienen componentes que se describen a continuación.

3.1.3.5.1. Componentes de los modelos ARIMA

Modelos Autorregresivos AR (p)

Modelos de regresión con valores retrasados de la variable dependiente en vez de la variable independiente. El orden del modelo depende de la cantidad de parámetros que se deseen estimar y la cantidad de periodos atrás sobre los cuales se quiere pronosticar.

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t$$

Donde:

Y_t = Variable de la respuesta en el tiempo t

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$ = Variables de la respuesta en los tiempos de retraso t-1, t-2, etc.

$\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_p$ = Coeficientes a estimar

ϵ_t = Término del error en el tiempo t.

Modelos de Promedio Móvil MA (q)

Modelos de regresión parecidos a los autorregresivos, solo que la variable Y no depende de valores previos de la misma, sino de valores previos de los errores de dichas variables. El orden del modelo depende de la cantidad de parámetros que se deseen estimar y la cantidad de periodos atrás sobre los cuales se quiere pronosticar.

$$Y_t = \mu + \epsilon_t - \omega_1 \epsilon_{t-1} - \omega_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \epsilon_{t-q}$$

Donde:

Y_t = Variable de la respuesta en el tiempo t

μ = Valor promedio que permanece constante en el proceso

$\epsilon_{t-1}, \epsilon_{t-2}, \dots, \epsilon_{t-q}$ = Errores en tiempos de retraso t-1, t-2, etc.

$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_p$ = Coeficientes a estimar

ϵ_t = Término del error en el tiempo t.

¹⁴ *Ibíd.*, p 392.

Modelos de Promedio Móvil Autorregresivo *ARMA* (p, q)

Los modelos de promedio móvil autorregresivo son la combinación de los dos modelos anteriores, correspondiendo a la notación *ARMA* (p, q), que cumplen la siguiente forma general:

$$Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \dots + \phi_p Y_{t-p} + \epsilon_t - \omega_1 \epsilon_{t-1} - \omega_2 \epsilon_{t-2} - \dots - \omega_q \epsilon_{t-q}$$

Donde:

Y_t = Variable de la respuesta en el tiempo t

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$ = Variables de la respuesta en los tiempos de retraso $t-1, t-2$, etc.

$\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_p$ = Coeficientes a estimar

$\epsilon_{t-1}, \epsilon_{t-2}, \dots, \epsilon_{t-q}$ = Errores en tiempos de retraso $t-1, t-2$, etc.

$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_p$ = Coeficientes a estimar

ϵ_t = Término del error en el tiempo t .

Se debe tener en cuenta que p y q son los niveles de retraso que se manejan en el modelo, y que en la práctica rara vez exceden de 2¹⁵.

Modelos de Promedio Móvil Autorregresivo Integrado *ARIMA* (p, d, q)

Como se mencionaba anteriormente, los modelos *AR*(p), *MA*(q) o *ARMA*(p, q) trabajan sobre series estacionales. Si la serie no es estacional, esta se puede convertir en una estacional al tomar sus diferencias. Se toman diferencias de orden d , hasta que la grafica de los datos indique que las autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales decrecen con respecto al tiempo. El modelo en este caso tiene la siguiente forma:

$$(Y_t - Y_{t-1}) = \phi_1(Y_{t-1} - Y_{t-2}) + \epsilon_t - \omega_1 \epsilon_{t-1}$$

Donde:

$Y_t - Y_{t-1}$ = Diferencia entre la variable de respuesta en el tiempo t con respecto al tiempo $t-1$

$\phi_1, \phi_2, \phi_3, \dots, \phi_p$ = Coeficientes a estimar

$\epsilon_{t-1}, \epsilon_{t-2}, \dots, \epsilon_{t-q}$ = Errores en tiempos de retraso $t-1, t-2$, etc.

$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_p$ = Coeficientes a estimar

ϵ_t = Término del error en el tiempo t .

¹⁵ *Ibid.*, p 345.

3.1.3.5.2. Análisis de gráficas de autocorrelación en la metodología ARIMA

Una de las principales características de la metodología ARIMA es la habilidad que se debe tener para asociar los tipos de gráficas de autocorrelación y autocorrelación parcial a los diferentes modelos predeterminados. Estas gráficas reflejan el comportamiento teórico que presentan las autocorrelaciones simples y parciales cuando las series de tiempo se aproximan a través de los diferentes modelos ARIMA, y dan cuenta de la eliminación del problema de la autocorrelación a medida que avanzan los retrasos calculados. Se grafican los valores de las autocorrelaciones dependiendo del retraso en el cual se calculan.

A continuación se muestran algunas de las formas principales de estas gráficas dependiendo de los modelos ARIMA escogidos¹⁶. Más adelante en el Capítulo III, Pronósticos, se observa su relevancia dentro de la metodología.

- **Modelos AR (1) :** $Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \epsilon_t$

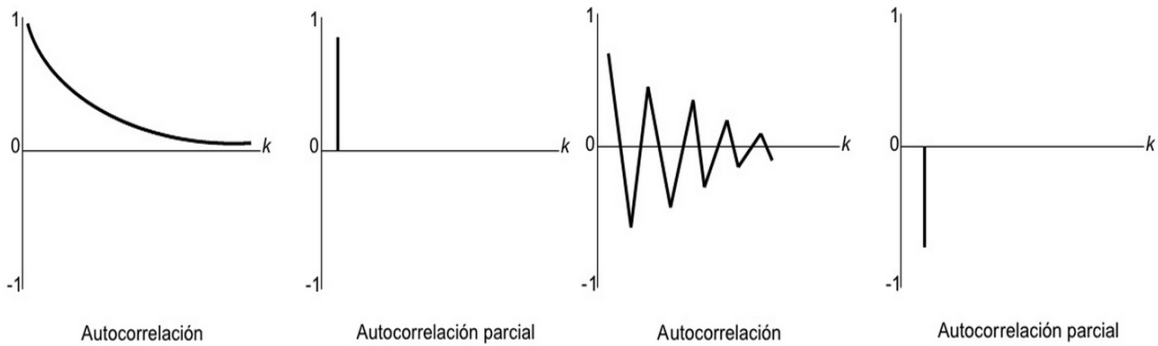


Figura 6. Gráficas de Autocorrelaciones para modelos AR (1)

- **Modelos AR (2) :** $Y_t = \phi_0 + \phi_1 Y_{t-1} + \phi_2 Y_{t-2} + \epsilon_t$

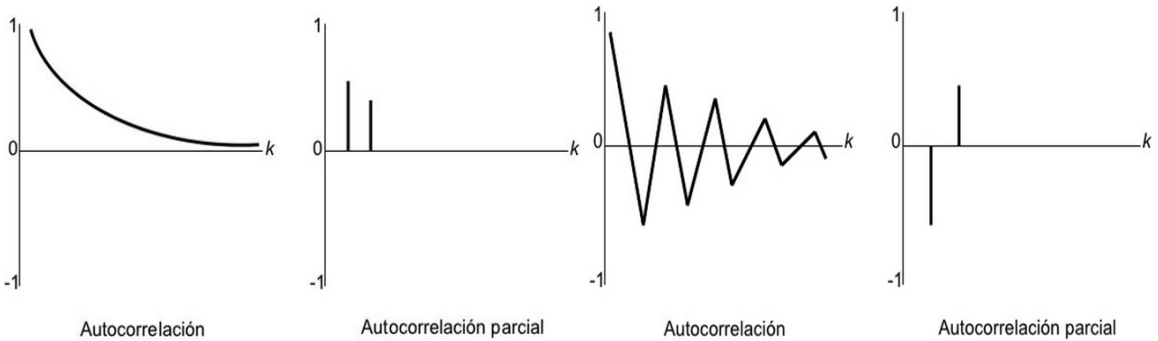


Figura 7. Gráficas de Autocorrelaciones para modelos AR (2)

¹⁶ibíd., p 383.

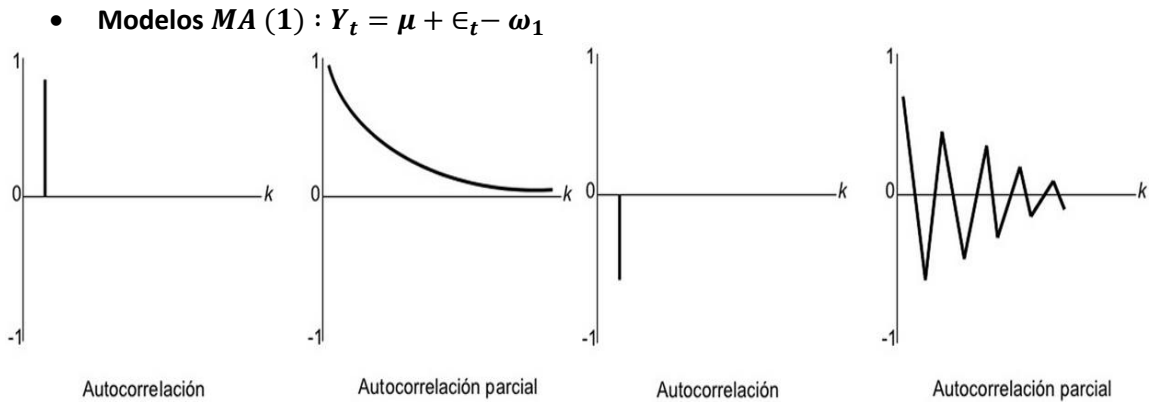


Figura 8. Gráficas de Autocorrelaciones para modelos MA (1)

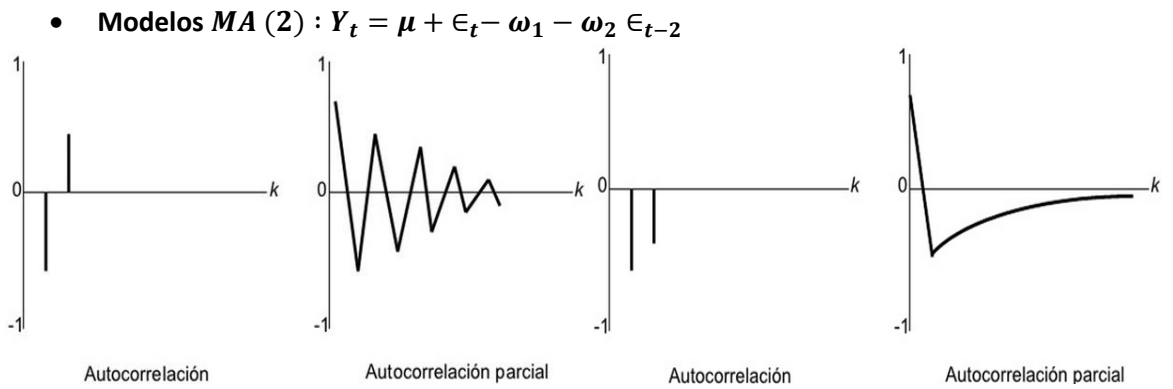
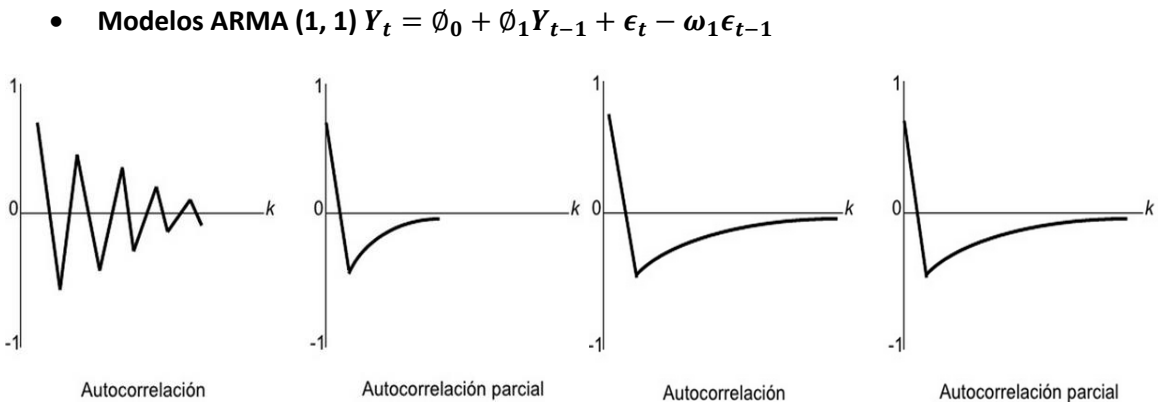


Figura 9. Gráficas de Autocorrelaciones para modelos MA (2)



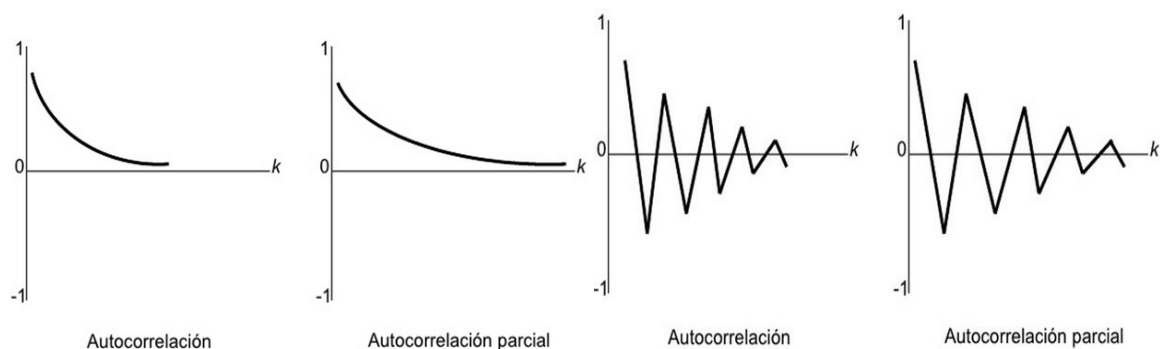


Figura 10. Gráficas de Autocorrelaciones para modelos ARMA (1,1)

En las anteriores figuras se mostraron algunas de las formas que pueden tomar las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales según el modelo utilizado. Teniendo en cuenta que estas gráficas se toman con base en series de tiempo arregladas para fines académicos, en la **Tabla 1** se presentan a nivel general los comportamientos de dichas gráficas, que pueden ayudar en caso de que las correlaciones no se parezcan a las gráficas patrón.

| | Autocorrelaciones | Autocorrelaciones parciales |
|--------------------------------|---|---|
| $MA(q)$ | Corte después del orden q del proceso | Se desvanecen |
| $AR(p)$ | Se desvanecen | Corte después del orden p del proceso |
| $ARMA(p, q)$ | Se desvanecen | Se desvanecen |

Tabla 1. Comportamientos de las autocorrelaciones según modelo ARIMA

3.1.3.5.3. Aplicaciones de los modelos ARIMA

Los modelos de pronósticos se han venido usando para predecir diversos fenómenos alrededor del mundo y en todos los campos, aparte de los pronósticos de la demanda. A partir de la metodología ARIMA se han venido desarrollando nuevos modelos que permiten la reducción de los valores residuales en cualquier tipo de pronóstico¹⁷, modelos que permiten realizar análisis y pronósticos de polución y contaminación en el medio ambiente¹⁸, modelos de pronósticos para el trafico de banda ancha en internet, a partir de modelos ARIMA ajustados¹⁹ y modelos de pronósticos para la velocidad del viento²⁰. Se observa una tendencia hacia la aplicación de modelos de pronósticos ARIMA para ver el impacto que tienen diferentes fenómenos sobre el medio ambiente, en donde los métodos cuantitativos son fundamentales a la hora de resolver estos problemas.

¹⁷ GUOHONG, Meijuan y BINQING, Zhibing. Combination forecasting models based on drift. IEEE, 2009

¹⁸ WANG, Weiqiang y GUO, Ying. Air pollution PM 2.5 data analysis in Los Angeles long beach with seasonal ARIMA model. IEEE, 2009.

¹⁹ EL HAG, Huda, y SHARIF, Sami M. An adjusted ARIMA model for internet traffic. IEEE, 2007

²⁰ JI, Guo-Rui, HAN, Pu y ZHAI, Yong-Jie. Wind speed forecasting base don support vector machine with forecasting error estimation. IEEE, 2007

3.1.4. Errores en los pronósticos

Así como se tienen técnicas para realizar pronósticos, también se cuenta con técnicas para medir el error de los mismos. Éstas son medidas que indican el grado de precisión de los datos pronosticados contra lo que realmente está pasando en el mercado. Esta diferencia entre el valor real y el pronosticado es llamado residual. Los errores pueden venir de dos fuentes: errores de sesgo, que es cuando el modelo no incluye variables que son críticas en el comportamiento de la demanda para los diferentes productos, o también se encuentran los errores aleatorios, que son debido al mercado y que el modelo de pronósticos no puede describir. Dentro de las medidas del error, las que se van a usar en este trabajo son las siguientes:

- **MAD:** Desviación Media Absoluta, que mide la precisión del pronóstico, al promediar las magnitudes de los residuales.

$$MAD = \frac{\sum |A_t - F_t|}{n}$$

Donde:

t = Número del periodo

A_t = Demanda real para el periodo t

F_t = Demanda pronosticada para el periodo t

n = Número total de periodos

$|\cdot|$ = Símbolo de valor absoluto

- **TS:** Tracking Signal o Señal de Rastreo, que mide el número de desviaciones que tiene el pronóstico con respecto al MAD, para que cuando el error acumulado salga de determinados límites, se alerte al pronosticador.

$$TS = \frac{RSFE}{MAD}$$

Donde:

$RSFE$ = Suma corriente de los errores

MAD = Desviaciones medias absolutas

3.1.5. Políticas de los pronósticos

La generación de los pronósticos involucra dos partes fundamentales, que son la parte estratégica y la parte operativa. La parte operativa consiste en la generación de los pronósticos a partir de los modelos seleccionados, pero la parte estratégica involucra la selección y análisis de datos, políticas de selección de modelos y control sobre los mismos, así como políticas de cambio de los modelos según el proceso de control de los errores de los pronósticos.

Para realizar una generación de pronósticos eficiente, se debe tener en cuenta la recolección de datos para que estos sean confiables, relevantes, coherentes y oportunos. Igualmente, para la elección de una técnica de pronósticos se debe tener en cuenta la razón de ser del pronóstico: quien va a utilizarlo, cuales son las características de los datos disponibles, requisitos mínimos de número de datos, precisión y horizonte necesario para realizar el mismo.

3.2. Programación de la producción

Conocido como sistema de ejecución de manufactura, es el último paso en el proceso de la planeación de la producción²¹. La programación de la producción se puede realizar con base en diferentes escenarios, ya sean determinísticos o estocásticos, y dependiendo de la modalidad de producción de las empresas, como la manufactura en una sola máquina, en varias máquinas simultáneas o en varias máquinas paralelas. El objetivo de la programación de la producción es asignar a cada uno de los trabajos una importancia relativa frente a los demás, teniendo en cuenta sus respectivos tiempos de producción y fechas de entrega, para poder programarlos en los diferentes recursos con los que cuentan las empresas a lo largo del tiempo²².

Uno de los métodos para realizar una programación de la producción eficiente es tener en cuenta criterios de priorización cuando estos definan la secuencia. De esta forma se realiza una asignación óptima de recursos a cada uno de los trabajos que se presentan en la empresa. Algunos de los criterios de priorización que se utilizan, dependiendo de la naturaleza de la producción, son: orden de llegada, tiempo de operación más corto, plazo de vencimiento más próximo, entre otros. Existen métodos de programación que solo utilizan una regla de priorización, y se dan más que todo en escenarios de producción en una sola máquina, mientras que existen otros modelos más complejos en donde se tienen n tareas y m recursos a asignar, y se parte de varios criterios de priorización para realizar la programación²³.

Para construir cualquier modelo de programación de la producción se hace necesario tener clara la utilidad y funcionalidad de los modelos de la investigación de operaciones, en donde la programación lineal es una de las alternativas para realizar dicho modelado. Una vez se determina el modelo a construir, se debe escoger un método de solución con base su complejidad y en los requerimientos del modelador.

3.2.1. Investigación de operaciones

Método científico para la toma de decisiones que consiste en el modelado y posterior análisis de un sistema, en donde se deben asignar recursos que son limitados. En general, los modelos constan de una o varias funciones objetivo, que al final se quieren maximizar o minimizar. Igualmente, se cuenta con unas variables de decisión que el sistema puede controlar y que

²¹CHASE, Richard B.; JACOBS, F. Robert y AQUILANO, Nicholas. Op. cit., p. 625.

²² PINEDO, Michael L. Scheduling. 2 Ed. USA: Springer Science + Business, 2008. p13.

²³ *Ibíd.*, p 8.

influyen en el desempeño del mismo. Por último, se deben tener definidas las restricciones del modelo y sus correspondientes parámetros²⁴.

Se pueden tener modelos lineales y no lineales, dependiendo de la relación que tengan las variables del problema. Igualmente, se pueden tener modelos de programación entera o binaria, dependiendo del tipo de valores que pueden tomar las variables de decisión. Asimismo, se pueden tener modelos de optimización determinísticos o estocásticos, cuando se conocen con certeza los valores de los parámetros del sistema o tienen asociados una probabilidad, respectivamente.

3.2.1.1. Programación lineal

Método para plantear problemas de optimización, en donde se cuenta tanto con funciones como desigualdades lineales. Esto supone que para cada función y cada restricción se tiene un conjunto de constantes y variables que dan la forma lineal de la siguiente manera $f(x_1, x_2, \dots, x_n) = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n$, y lo mismo para las restricciones. En este orden de ideas, un problema de programación lineal es un problema de optimización en donde se trata de maximizar o minimizar una o más funciones objetivo de tipo lineal, cumpliendo con ciertas restricciones lineales asociadas al problema²⁵.

En la búsqueda de la solución de estos problemas se debe contar con una región factible, que es una región en la cual el valor de las variables de decisión cumple con todas las restricciones del problema. Se debe tener en cuenta que dentro de la región factible existe algún punto, vector o plano que representa una solución óptima, es decir, se garantiza que el valor de la función objetivo es un máximo o es un mínimo. El problema puede tener una única solución, múltiples soluciones, puede no tener una solución o el problema puede no estar acotado. En la actualidad existen varios métodos de solución para problemas de programación lineal dependiendo de la complejidad del problema a tratar. Dentro de los métodos de solución están los métodos exactos, como por ejemplo la metodología Simplex, o los métodos Heurísticos o Meta-heurísticos. La diferencia radica en la eficacia operacional del método de solución, que como se mencionaba anteriormente, depende del tipo de problema a modelar.

3.2.2. Modelos de optimización para la programación de la producción

La programación de la producción siempre ha estado presente en diferentes contextos de la vida diaria, como la industria, el comercio y la prestación de servicios de salud. El modelado de estos problemas data desde los años 50, a través de trabajos como la optimización de líneas de producción, la minimización de tiempo promedio de flujo de productos en planta, y la minimización de trabajos retrasados²⁶.

²⁴ HILLIER, Frederick S. y LIEBERMAN, Gerald J. Investigación de operaciones. 7ª Ed. México: McGraw Hill, 2002. 780 p.

²⁵ Ibíd., p 69.

²⁶ LOPEZ DE PABLO, David A. On scheduling models: An overview. Computers and Industrial Engineering, 2009.

Este tipo de modelos busca la asignación óptima de recursos a diferentes tipos de tareas a lo largo del tiempo, cumpliendo con una serie de restricciones y teniendo en cuenta una o varias funciones objetivo. En este tipo de problemas, cada pedido se transforma en una tarea con una fecha límite, que se debe procesar en algún recurso en un determinado momento²⁷. Dependiendo de la función objetivo a tratar y las prioridades que se le asignen a cada trabajo, se intenta llegar a un programa de producción óptimo.

3.2.2.1. Clasificación de modelos

Dentro de los diferentes tipos de programación que se pueden dar, existen las siguientes clases:

- **Secuenciación:** Permutación de n trabajos en un recurso dado. No se tiene en cuenta la asignación de los trabajos en el tiempo.
- **Programación:** Asignación de varios trabajos a varios recursos disponibles, abriendo la posibilidad de cambiar el orden de los trabajos debido a su priorización. Se tienen en cuenta recursos asignados y la asignación del trabajo en el tiempo.

3.2.2.2. Notación

Para poder realizar el modelado del sistema y que este sea universalmente entendible, se cuenta con una notación básica para los modelos, las variables y los parámetros que influyen en el mismo. La descripción de un modelo de programación de la producción se denota de la siguiente forma:

$$\alpha|\beta|\gamma^{28}$$

En donde,

α =Escenario de la máquina

β =Escenario de las restricciones que tenga el modelo

γ =Describe la función objetivo a minimizar

Por otro lado, se presentan algunos de los términos que se van a usar a lo largo del trabajo.

P_i : Tiempo de proceso del trabajo i

D_i : Fecha de entrega esperada del trabajo i

W_i : Peso del trabajo i . Puede derivarse de más de un factor de priorización

T_i : Tardanza del trabajo i , en donde $T_i = \text{máximo}(C_i(\pi) - D_i, 0)$

$C_i(\pi)$: Tiempo real de terminación del trabajo i

²⁷ PINEDO, Michael L. Op. Cit. p 15.

²⁸ Ibíd., p 14.

3.2.2.3. Problema de Minimización de la Tardanza Total Ponderada

El problema de la minimización de la tardanza total ponderada para una máquina se denota como $1|| \sum W_i * T_i(\pi)$, teniendo en cuenta la anterior notación. El objetivo es minimizar las tardanzas (diferencia entre la fecha de entrega estipulada y el tiempo real de terminación), castigando con un peso diferente cada uno de los trabajos que se entregan tarde. Este peso depende del criterio de priorización definido para los trabajos.

El problema se define de la siguiente forma: “Sean n trabajos i_1, i_2, \dots, i_n y una sola máquina puede procesar un solo trabajo a la vez. Cada trabajo I_i tiene un tiempo de procesamiento P_i , una fecha de entrega D_i y un costo de penalización por cada unidad de tiempo de retraso W_i . Todos los trabajos están disponibles en el tiempo a efectos de ser procesados. Para cada trabajo, dada una secuencia propuesta de procesamiento π , se obtiene un tiempo $C_i(\pi)$ en el que dicha tarea será completada. La tardanza de cada trabajo se define como $T_i(\pi) = \max(0, C_i(\pi) - D_i)$ y la tardanza ponderada de la secuencia completa de trabajos $f(\pi)$ esta dada por $f(\pi) = \sum_i^n W_i * T_i(\pi)$. El objetivo es minimizar $f(\pi)$ ”²⁹.

El modelo clásico de la minimización de la tardanza total ponderada, teniendo en cuenta la anterior definición, es el siguiente³⁰:

Conjuntos

$$I = \text{Trabajos } i$$

Parámetros

$$P_i = \text{Tiempo de procesamiento del trabajo } i$$

$$D_i = \text{Fecha de entrega del trabajo } i$$

$$W_i = \text{Prioridad del trabajo } i$$

Variables

$$X_i = \text{Posición en donde se va a ensamblar el trabajo } i$$

En donde el conjunto solución X_i forma una secuencia de ensamble quasi-óptima π

²⁹ CABALLERO V., Juan Pablo y ALVARADO, V. Jorge Andrés. Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP), una alternativa valiosa en la minimización de la tardanza total ponderada en una máquina. Ingeniería y Universidad, Vol. 14, 2010. p 3. ISSN 0123-2126.

³⁰ GALLARDO, Rodrigo. Minimización de la tardanza total en una máquina con tiempos de preparación dependientes de la secuencia mediante modelos de programación lineal entera mixta. Universidad del Bío-Bío, Chile: 2011. P 31.

Restricciones

$$\begin{aligned}
 C_i(\pi) &\geq \sum_i^n P_i \\
 T_i(\pi) &\geq C_i(\pi) - D_i, \quad \forall i \in I \\
 X_i &\in Z, \quad \forall i \in I
 \end{aligned}$$

Función objetivo

$$\text{Minimizar } Z = \sum_i^n W_i * T_i(\pi)$$

El problema de la minimización de la tardanza total ponderada se remonta a los años 60’s, en donde se comenzó a investigar el modelo de tardanza total en una máquina, y su estudio se extendió a modelos de tardanza total ponderada. La solución de este tipo de modelos se comenzó a realizar a partir de heurísticas simples como el tiempo de procesamiento más corto (Shortest Processing Time), o la fecha de vencimiento más próxima (Earliest Due Date). Posteriormente, se comenzó a resolver el modelo a partir de algoritmos de ramificación y acotamiento (Branch and Bound), seguido de programación dinámica, relajación lagrangiana y reglas de dominancia, como se observa en la **Figura 11**.

| TWT problem | | |
|-------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Year | Method | Reference |
| 1968 | Network model/BB ^a | Elmaghraby (1968) |
| 1969 | Dominance rules | Emmons (1969) |
| 1975 | BB | Rinnooy Kan et al. (1975) |
| 1977 | DP ^b | Lawler (1977) |
| 1978 | Branch-and-bound | Picard and Queyranne (1978) |
| 1985 | BB/Lagrangian relaxation | Potts and Van Wassenhove (1985) |
| 1987 | Dominance rules | Rachamadugu (1987) |
| 1993 | Decomposition | Szwarc and Liu (1993) |
| 1998 | Dominance rules | Akturk and Yildirim (1998) |

^a BB = Branch-and-bound.
^b DP = Dynamic programming.

31

Figura 11. Técnicas de optimización utilizadas para resolver el problema de la minimización de la tardanza total ponderada

Se encontró que muchos de los métodos de solución del problema se comenzaban a integrar entre sí, por medio de las reglas de dominancia y precedencia de trabajos, en donde se alcanzaban soluciones óptimas en tiempos de procesamiento razonables³².

³¹ SEN, Tapan; SULEK, Joanne M. y DILEEPAN, Parthasarati. Static scheduling research to minimize weighted and unweighted tardiness: A state-of-the-art survey. International journal of production economics, 2003. P 6.

Revisando el marco teórico se encontró que el problema de minimización de la tardanza total ponderada ha sido resuelto a través de heurísticas de búsqueda local, como las “Backward-Forward”, que crean su solución inicial recorriendo la secuencia desde el trabajo n hasta el trabajo i , obteniendo mejores resultados que con las heurísticas simples de SPT (Shortest Processing Time) y EDD (Earliest Due Date)³³. También se ha resuelto el problema con algoritmos evolutivos, mezclando soluciones iniciales de Greedy con mutaciones en la búsqueda local³⁴, o por medio de la metodología de Colonia de Hormigas, obteniendo mejores resultados que con las heurísticas simples³⁵. Algunos métodos más complejos fueron los algoritmos meméticos,³⁶ y algoritmos de búsqueda dinámica³⁷, en donde también se lograron mejores tiempos de proceso que en las heurísticas de SPT y EDD.

Por último, se revisó la solución del problema de la minimización de la tardanza total ponderada a partir de heurísticas simples, y se encontró que resolviendo el problema por medio de la heurística de Greedy las soluciones encontradas no diferían significativamente de las mejores soluciones en la librería OR-Library³⁸. Esto se demostró a partir de un Análisis de Varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés) para diferentes experimentos resueltos con Greedy, comparados con las mejores soluciones disponibles actualmente para el problema³⁹.

Este problema ha sido catalogado como NP-Duro, que de acuerdo con la teoría de la eficiencia computacional, no es eficiente tratar de resolverlo por métodos de solución exactos. A lo largo del tiempo se han tratado de realizar varias aproximaciones al modelo a través de metodologías como las reglas de prioridad dinámicas y el recocido simulado, pero se observó que la meta-heurística de GRASP tenía buenos resultados cuando se comparaba con los valores de la biblioteca OR-Library para dicho problema⁴⁰.

3.2.3. Complejidad de los modelos

La complejidad de los modelos de programación de la producción se define según su eficiencia computacional. Esta se clasifica en tipo P (Polynomial Time) y NP (Non-Deterministic Polynomial

³² *Ibíd.* p 8.

³³ MAHESWARAN, R. y PONNAMBALAM, S.G. An investigation on single machine total weighted tardiness scheduling problems. Springer – Verlag, London: 2003.

³⁴ MAHESWARAN, R. y PONNAMBALAM, S.G. An intensive search evolutionary algorithm for single-machine total-weighted-tardiness scheduling problems. Springer – Verlag, London: 2004.

³⁵ SRINIVASA N. R., VENKATARAMANAN M. Parallel processor scheduling for minimizing total weighted tardiness using ant colony optimization. Springer – Verlag, London: 2008.

³⁶ MAHESWARAN, R. PONNAMBALAM, S.G., y ARAVINDAN, C. A meta-heuristic approach to single machine scheduling problems. Springer – Verlag, London: 2004.

³⁷ CONGRAM, Richard, POTTS, Chris y VAN DE VELDE, Steef. An iterated dynasearch algorithm for the single-machine total weighted tardiness scheduling problem. *INFORMS, Journal on computing*. Vol 14, No. 1, 2002.

³⁸ PANNEERSELVAM, R. Simple heuristic to minimize total tardiness in a single machine scheduling problem. Springer – Verlag, London: 2005.

³⁹ *Ibíd.* p 6.

⁴⁰ CABALLERO V., Juan Pablo y ALVARADO, V. Jorge Andrés. *Op. Cit.* p 11.

Time), en donde los problemas tipo P tienen un método y tiempo de solución polinómico, mientras que los problemas NP a su vez se dividen en NP-Completos o NP-Duros, y su solución por medio de métodos exactos es ineficiente debido a que son problemas de optimización combinatoria⁴¹.

3.2.4. Métodos de solución

Teniendo en cuenta la clase y la complejidad del problema a formular, se tienen diferentes métodos de solución, como se muestran a continuación:

3.2.4.1. Métodos exactos

Estos métodos de solución exacta son útiles siempre y cuando el problema sea de tipo P, es decir, que pueda ser modelado a partir de programación lineal y que se pueda resolver de forma polinómica⁴². Algunas de las metodologías de solución exacta son las siguientes:

- Análisis y solución gráfica (para problemas de 2 variables)
- Algoritmos de Ramificación y Acotamiento (Branch and Bound)

3.2.4.2. Heurísticas

Los métodos heurísticos son una buena metodología para resolver problemas en instancias pequeñas, en donde se logran buenas soluciones en tiempos de ejecución aceptables. Son métodos iterativos en donde se pueden alcanzar óptimos locales, e incluso en algunos casos, globales. En este caso se sacrifican algunos criterios de optimalidad por criterios de eficiencia y tiempos de ejecución⁴³. Algunos de los métodos heurísticos para la solución de problemas son los siguientes:

- Método de Vogel
- Algoritmo Simplex
- Greedy

3.2.4.3. Metaheurísticas

Como su nombre lo indica, las metaheurísticas tienen un alcance mayor que las heurísticas. Están basadas en métodos iterativos, y tienen la facilidad de realizar búsquedas por regiones de óptimos locales y globales, dependiendo del método⁴⁴. Algunas de las metaheurísticas para la solución de problemas son las siguientes:

- Algoritmos Genéticos
- Búsqueda Tabú
- Colonia de Hormigas

⁴¹ BRUCKER, Peter. Scheduling Algorithms. 5 Ed. New York: Springer, 2006. p 41.

⁴² HILLIER, Frederick S. y LIEBERMAN, Gerald J. Op Cit. p 113.

⁴³ BRUCKER, Peter. Scheduling Algorithms. Op Cit. p 51.

⁴⁴ *Ibíd.*, p 55.

- GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)

3.2.4.3.1. GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure)

La meta-heurística de GRASP es una mejora realizada a la heurística de Greedy, y que consta de dos fases perfectamente definidas: Construcción de una solución inicial factible y Búsqueda local⁴⁵. De esta forma se examina el vecindario de la solución inicial hasta alcanzar un óptimo local, en donde en cada iteración se va guardando la mejor solución hasta que se cumpla el criterio de parada (valor de la función objetivo o número máximo de iteraciones). Ésta metodología presenta ventajas frente a otros métodos de solución dado que tiene la habilidad para construir soluciones iniciales factibles, y continuar con esta característica durante todo su uso⁴⁶. La metodología ha presentado buenos resultados en la solución de problemas de programación de la producción de tipo Flowshop⁴⁷ y en programación de la producción en máquinas paralelas⁴⁸, demostrando su facilidad de implementación y sus buenos resultados⁴⁹. Por otro lado, se observa su versatilidad en cuanto a aplicaciones: Se cuenta con trabajos en donde se ha aplicado GRASP para resolver problemas de tipo Bin-Packing para 2 o 3 dimensiones⁵⁰ y para determinación de secuencias de desensamble en problemas de logística inversa⁵¹.

A continuación se presentan las 2 fases de la meta-heurística de GRASP:

FASE 1. Generación de una solución inicial factible

Se debe construir una solución inicial factible al problema, adicionando uno a uno los elementos a la solución teniendo en cuenta un criterio o función de utilidad. Para esto se debe definir la Lista Restringida de Candidatos (RCL por sus siglas en inglés: Restricted Candidate List), que corresponde al nivel de aleatoriedad que puede tener el algoritmo. Se sigue el siguiente algoritmo para llegar a la solución inicial:

“Procedure Greedy_Randomized_Construction (Seed)
Solution $\leftarrow \emptyset$;
Evaluate the incremental cost of the candidate elements;
While Solution is not a complete solution do
Build the restricted candidate list (RCL);

⁴⁵ ALEX, Renata M., et al. GRASP with Path Relinking for three-index assignment. Journal on computing, INFORMS: 2005.

⁴⁶ DAVOUDPOUR, Hamid y ASHRAFI, Maryam. Solving multi-objective SDST flexible flowshop using GRASP algorithm. Springer-Verlag, London: 2008.

⁴⁷ PRABHAHARAN G., SHAHUL, B. y RAKESH L. Implementation of GRASP in flow shop scheduling. Springer-Verlag, London: 2005.

⁴⁸ ROJANASOONTHON, Siwate y BARD, Jonathan. A GRASP for parallel machine scheduling with time windows. Journal on computing, INFORMS: 2005.

⁴⁹ PRABHAHARAN G., SHAHUL, B. y RAKESH L. Op Cit., p 1130.

⁵⁰ PARREÑO, F. et al. A hybrid GRASP/VND algorithm for two – and three – dimensional bin packing. Springer Science + Business Media, LLC: 2008.

⁵¹ ADENSO, Belarmino, GARCIA, Santiago y LOZANO, Sebastián. An efficient GRASP algorithm for disassembly sequence planning. Springer – Verlag, España: 2006.

```

        Select an element  $s$  from the RCL at random;
        Solution  $\leftarrow$  Solution  $\cup \{s\}$ ;
        Reevaluate the incremental cost;
    End;
    Return Solution;
End Greedy_Randomized_Construction52.

```

El criterio de entrada a la solución inicial se determina teniendo en cuenta los requerimientos y las restricciones del problema.

FASE 2. Búsqueda local

Una vez se tiene la solución inicial factible definida, el algoritmo comienza a iterar en las cercanías de la solución, lo cual hace que esta metodología se acerque a un óptimo local en cada iteración. El siguiente algoritmo se desarrolló para iterar por los diferentes conjuntos de solución:

```

“Procedure Local_Search (Solution)
    While Solution is not locally optimal do
        Find  $s' \in N(\text{Solution})$  with  $f(s') < f(\text{Solution})$ ;
        Solution  $\leftarrow s'$ ;
    End;
    Return Solution;
End Local_Search53.

```

Para realizar la búsqueda local y garantizar que se llegue al óptimo, este algoritmo se puede programar mediante un ciclo While. Por otro lado, también se puede programar el número de iteraciones máximas a realizar antes de detener el algoritmo, sacrificando el nivel de optimalidad que brindan las metaheurísticas por eficiencia computacional, dependiendo del problema que se desee modelar.

Revisando la aplicación de la meta-heurística de GRASP al problema de la minimización de la tardanza total ponderada, se encontraron los resultados de la **Tabla 2**, en donde se observa el porcentaje de las veces que la metodología alcanzó el valor óptimo disponible en la biblioteca.

| Instancias | Óptimo | $\sigma < 1\%$ | $\sigma > 1\%$ |
|--------------|------------|----------------|----------------|
| 40 trabajos | 76% | 23% | 1% |
| 50 trabajos | 66% | 30% | 4% |
| 100 trabajos | 33% | 52% | 15% |
| Total | 58% | 35% | 7% |

Tabla 2. Resultados obtenidos mediante la aplicación de la meta-heurística de GRASP al problema de la minimización de la tardanza total ponderada en una máquina

⁵² CABALLERO V., Juan Pablo y ALVARADO, V. Jorge Andrés. Op. Cit p 6.

⁵³ *Ibíd.*, p 7.

Los experimentos realizados por Caballero y Alvarado demuestran la utilidad y viabilidad de utilizar algoritmos tipo GRASP para resolver el problema de la minimización de la tardanza total ponderada en una máquina. Al comparar los valores óptimos disponibles en la biblioteca con los valores experimentales, se observó que para n=40 trabajos, el 99% de las instancias se resolvió con una desviación máxima del 1% frente a los valores óptimos. También se observó que para n=50 trabajos, el 96% de las instancias se resolvió con una desviación máxima del 1% frente a los valores óptimos. Por último, se observó que para n=100 trabajos, el 85% de las instancias se resolvió con una desviación máxima del 1% frente a los valores óptimos. Al final, el 93% de las instancias se lograron resolver con una desviación máxima del 1% frente a los mejores valores reportados en la OR-Library⁵⁴, garantizando que el modelo brinda excelentes resultados al implementarlo en la solución del problema de la minimización de la tardanza total ponderada en una máquina.

3.2.5. Aplicaciones

Los modelos de programación de la producción han sido aplicados a técnicas ya conocidas como por ejemplo, la programación de la producción con base en la Teoría de Restricciones⁵⁵ o basados en la producción Justo a Tiempo⁵⁶. Asimismo, se ha venido incrementando la tendencia hacia la aplicación de dichos modelos en casos reales para que las empresas los puedan aplicar de forma efectiva⁵⁷. Pero detrás de todo esto se encuentran nuevas técnicas usadas en la resolución de estos algoritmos, desde métodos como el de la colonia de hormigas⁵⁸ y GRASP con Path Relinking⁵⁹, hasta heurísticas de tipo genético, basadas en el aprendizaje continuo por parte del modelo⁶⁰. Actualmente las técnicas de modelado y resolución de problemas de programación de la producción siguen en desarrollo, a través de investigaciones de profesores en universidades y de investigaciones en el sector industrial que aportan a la comunidad científica a través de sus resultados.

⁵⁴ *Ibíd.*, p 12.

⁵⁵ CHUA T.J., et al. A heuristics-based advanced planning and scheduling system with bottleneck scheduling algorithm. IEEE, 2006.

⁵⁶ MCGARRY, Michael, et al. Just in time scheduling for multichannel EPSON's. IEEE, 2008

⁵⁷ GROBLER, J. y ENGELBRECHT, A. P. A scheduling-specific modeling approach for real world scheduling. IEEE, 2007.

⁵⁸ YOU-XIN, Meng, JIE, Zhang y ZHUO, Chen. An overview of ant colony optimization algorithm and its application on production scheduling. IEEE, 2009

⁵⁹ VEGA MEJIA, C.A. Y CABALLERO VILLALOBOS, J.P. Uso combinado de GRASP y Path Relinking en la programación de la producción para minimizar la tardanza total ponderada en una maquina. Ingeniería y Universidad, vol. 14, 2010.

⁶⁰ HWAN KIM, Gyoung y LEE, George. Genetic reinforcement learning approach to the heterogeneous machine scheduling problem. IEEE, 1998

4. Justificación

El crecimiento sostenido en el sector de la construcción en Colombia⁶¹ hace que empresas como Grifería y Complementos Corona tengan que revisar sus procesos y su capacidad de respuesta ante variaciones en el mercado. Teniendo en cuenta el área de oportunidad que presenta el sector de la construcción, se decidió revisar el proceso de planeación y programación de la producción al interior de la empresa, para determinar áreas de oportunidad susceptibles de mejora.

Como se puede observar en el Capítulo II, se identificaron problemas a lo largo del sistema de planeación de la producción. La mala gestión en la generación de pronósticos y la falta de una herramienta que permita programar la producción con base en los requerimientos de los clientes y las políticas de la empresa están generando ineficiencias en dicho sistema. Por estas razones es pertinente realizar propuestas de mejora a los procesos actuales de la empresa, que faciliten el análisis de la información para la toma de decisiones y que den un mayor horizonte de tiempo en la planeación.

Una propuesta de mejora en el proceso de generación de pronósticos no solamente le puede dar una mejor visión a la empresa de lo que pueda pasar en el futuro, sino que a partir de la herramienta generada se puede promover una integración y una efectiva implementación del ciclo colaborativo del que habla la metodología participativa.

Por otro lado, una mejora en el proceso de programación de la producción no solo incrementaría la productividad de la empresa en cuanto a su velocidad de facturación y la satisfacción de sus clientes, sino que también le daría a la empresa una herramienta robusta que le permita tener una mejor visión y capacidad de reacción ante cualquier eventualidad que se pueda presentar en el piso de la planta.

Con base en la aplicación de los diferentes modelos propuestos como parte de la mejora a los procesos de generación de pronósticos y programación de la producción al interior de la empresa, se determinará el impacto generado por los mismos. Para esto, se tomarán datos y resultados reales de la empresa y serán evaluados con los modelos propuestos. De esta forma se puede observar el impacto real de los modelos sobre los datos históricos de la empresa.

⁶¹ CAMACOL. Construcción en cifras. <En línea>. Consultado el 12 de Agosto de 2012. Disponible en <<http://camacol.co/informacion-economica/cifras-sectoriales/construccion-en-cifras>>.

CAPÍTULO II. DIAGNÓSTICO



1. Antecedentes

La organización Corona es una empresa dedicada a la manufactura y comercialización de materiales para la construcción y accesorios para el hogar. Grifería y Complementos Corona hace parte de una de las 7 unidades de negocio de dicha organización, y es la empresa que actualmente se dedica a la manufactura de griferías y accesorios para baños.

Grifería y Complementos Corona se ha caracterizado por una constante preocupación en la mejora de sus procesos, así como también por la responsabilidad social y empresarial, a través de sus programas de amigos del agua, sus líneas ecológicas de ahorro de agua, y sus certificaciones de calidad con la norma del medio ambiente ISO 14001 y la seguridad de sus empleados, con la norma OSHAS 18001. Se encuentra certificada en la norma ISO 9001:2008, y ha venido implementando herramientas como TPM (Total Productive Maintenance) y Lean Manufacturing para la mejora constante de sus procesos.⁶² Actualmente el posicionamiento con el que cuenta la empresa es el de su primera marca: Grival. Es por esto que el departamento de mercadeo y ventas ha venido trabajando en el posicionamiento de la empresa, y su asociación con las diferentes marcas.

El catalogo de la empresa se encuentra dividido básicamente en 2 familias que son Baños y Cocinas. Estas familias a su vez se encuentran divididas en líneas de producto, como se muestra a continuación:

- Baños

| Línea de producto | Producto | Descripción |
|---------------------|--|---|
| ACCESORIOS |  | Accesorios como barras, jaboneras y acabados en plástico cromado y metal. |
| ASIENTOS SANITARIOS |  | Asientos sanitarios y herrajes inyectados en plástico. |

⁶² GRUPO CORONA. <En línea>. Consultado el 11 de Agosto de 2011. Disponible en <<http://www.corona.com.co/2010/grival/pages/nuestra-compania>>

| | | |
|---|---|---|
| <p>DUCHAS – REGADERAS – TELEDUCHAS</p> |  | <p>Accesorios y griferías plásticas y metálicas para duchas, regaderas y tele duchas.</p> |
| <p>GRIFERÍA DE TANQUE</p> |  | <p>Grifería y repuestos plásticos y metálicos para tanques y sanitarios.</p> |
| <p>GRIFERÍA DE LAVAMANOS</p> |  | <p>Accesorios y griferías plásticas y metálicas para lavamanos, y elementos para la plomería.</p> |

- Cocinas

| Línea de producto | Producto | Descripción |
|--------------------------------------|--|--|
| <p>GRIFERÍA DE LAVAPLATOS</p> |  | <p>Accesorios, repuestos y grifería plástica y metálica para lavaplatos, y elementos para la plomería.</p> |

Actualmente la empresa Grifería y Complementos Corona cuenta con 13 mini-fábricas especializadas en cada una de las funcionalidades de los productos que allí se manufacturan. Como se puede observar en la **Tabla 3**, la empresa cuenta con 2870 referencias de producto terminado.

| MINI-FÁBRICA | REFERENCIAS DE PT |
|---------------------|--------------------------|
| Accesorios | 339 |
| Duchas Mezcladoras | 487 |
| Grif. TQ Atlant. | 166 |
| Grif. TQ Atlas | 104 |
| Lavaplatos | 402 |
| Línea Metal | 137 |
| LL. IND. D. SF. | 133 |
| MEZC. LAV. 4P | 94 |
| MEZC. LAV. 8P | 455 |
| MUEBLE PLASTICO | 291 |
| OTROS | 162 |
| OUTSOURCING | 95 |
| TORRES | 5 |
| TOTAL | 2870 |

Tabla 3. Referencias de PT por mini-fábrica en Grifería y Complementos Corona

2. Proceso actual

Actualmente la empresa Grifería y Complementos Corona realiza su planeación de la producción a través de un Plan de Ventas y Operaciones (PVO) mensual, y con un horizonte de 6 meses, en el cual se realizan tanto los pronósticos de ventas como la planeación de la capacidad y los recursos con los que cuenta la planta, como materias primas, personal y maquinaria.

El principal objetivo de las reuniones realizadas para llegar a la planeación de ventas y operaciones mensual es el de poder contrastar el presupuesto de ventas que se tiene, contra los pronósticos de demanda realizados, y así ver si la capacidad de la planta es suficiente para cumplir con los requerimientos de los clientes. Primero que todo, el proceso de generación de pronósticos parte de una base estadística, a partir de datos históricos, y se realiza tanto por familia de productos como por referencia. Adicional a este valor pronosticado, se debe realizar un ajuste por parte del departamento de mercadeo y ventas, de acuerdo con pronósticos de campo, planes de mercadeo, planes de distribución y factores exógenos, que deben ser incluidos dentro del pronóstico del mes. Los pronósticos que están siendo generados actualmente son una combinación entre técnicas cuantitativas y cualitativas. La técnica utilizada para generar los pronósticos es la función PRONÓSTICO en Excel, que se basa en la metodología de la regresión lineal. Adicionalmente, los comerciales pronostican ventas por familias de productos y no por cada referencia.

Una vez se tiene el pronóstico agregado, se realiza un plan inicial sin restricciones de ningún tipo, para determinar los recursos necesarios para cumplir con los pronósticos de la demanda. Cuando se tiene el plan, se realiza la explosión de materiales, para así poder determinar los requerimientos netos de los mismos en el periodo en cuestión. Finalmente, teniendo el plan inicial de operaciones sin restricciones y la explosión de materiales, junto con los requerimientos de cada material, se

realiza la reunión final con los gerentes y jefes de área de producción, ventas, financiero y mercadeo, para poder determinar el plan de producción con restricciones de capacidad, compras, mano de obra y maquinaria. Una vez se llega a un acuerdo, nace el plan oficial de ventas, producción y compras para el mes en cuestión. En la **Figura 12** se puede observar el proceso de generación del PVO (Plan de Ventas y Operaciones) mensual de la empresa.

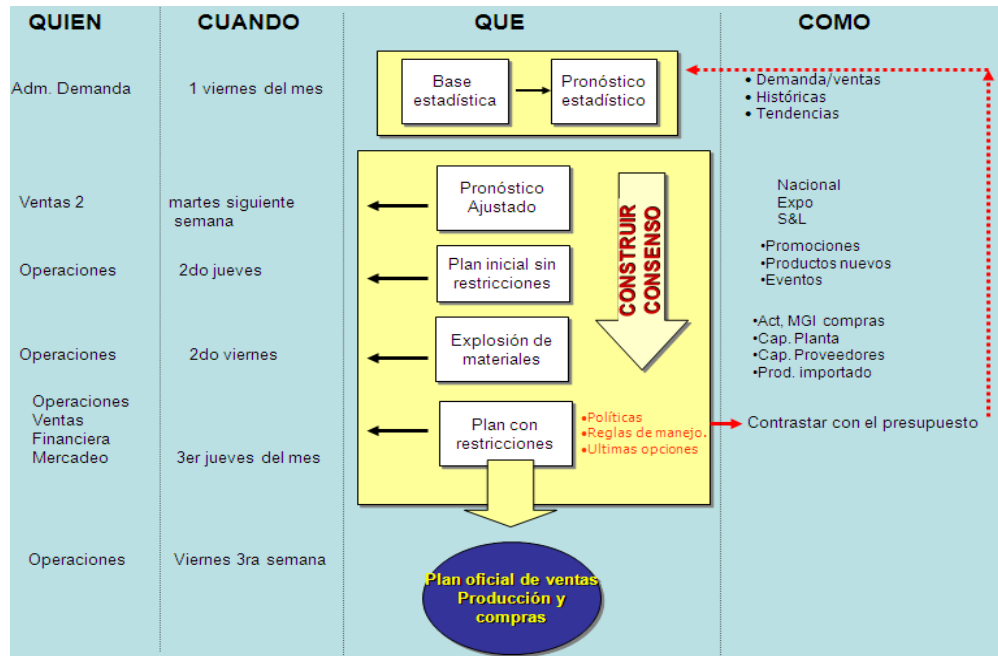


Figura 12. Proceso de generación del PVO mensual

Una vez se tiene el PVO del siguiente periodo listo, se generan todas las órdenes de compra y los ajustes necesarios de personal para el siguiente periodo, y se espera a que comiencen a entrar las órdenes de pedido por parte de los clientes. Cada vez que se genera una orden de pedido, ésta es ingresada al sistema de información BPCS (Business Planning and Control System), y éste la valida por medio de criterios como canal de distribución, o cartera del cliente. Una vez el sistema determina los pedidos que son viables y la mini-fábrica a la que corresponden, la información queda en el sistema para que cada uno de los jefes de las mini-fábricas la descargue. La información es descargada diariamente, y las órdenes de fabricación son ordenadas con un único criterio, que es el de la antigüedad del pedido en el sistema (ordenación de mayor a menor para garantizar el cumplimiento de la oferta logística).

Finalmente, cuando se tienen las órdenes de fabricación organizadas, el jefe de cada mini-fábrica, según su experiencia y criterio personal, asigna las diferentes órdenes que deben ser ensambladas en sus líneas de producción, teniendo en cuenta los días de pedido atrasados. La secuenciación del ensamble de órdenes de producción se realiza entre el jefe de cada mini-fábrica y el coordinador

⁶³ Diagrama suministrado por la empresa Grifería y Complementos Corona

de línea de los diferentes productos a realizar, según las órdenes que se van presentando en el día a día y la prioridad que ellos les den. Actualmente no existe una estructura formal que permita programar la producción en las líneas de ensamble de las diferentes mini-fábricas.

3. Planteamiento del problema

Revisando el proceso de planeación de la producción en la empresa Grifería y Complementos Corona, se encontraron falencias en los procesos de generación de pronósticos y programación de la producción. Actualmente se cuenta con una metodología robusta para la planeación de ventas y operaciones (PVO), pero se evidenció la falta del uso de modelos cuantitativos que soporten la gestión de la misma.

El proceso de generación de pronósticos a partir de datos históricos se está llevando a cabo en Excel de forma manual a través de la función PRONÓSTICO (función basada en la metodología de regresión lineal por mínimos cuadrados), teniendo en cuenta errores como la desviación estándar y el MAD. No se tienen contempladas otras técnicas cuantitativas de pronósticos que son más exactas y que tienen en cuenta el problema de la correlación de las series de tiempo, ni se tiene un control o seguimiento efectivo sobre los errores de los pronósticos que permitan dar retroalimentación al proceso. Asimismo, la empresa no cuenta con herramientas que faciliten el proceso de ajuste cualitativo a los pronósticos con el área comercial. Este proceso se hace de forma individual a través de Excel, lo cual es ineficiente en cuanto al tiempo de transcripción e integración de la información.

La **Tabla 4** muestra el promedio de las desviaciones medias absolutas (MAD) desde Enero de 2012 hasta Junio de 2012, agrupado por cada mini-fábrica. La **Tabla 5** muestra el promedio de las desviaciones estándar de los MAD para los mismos periodos, mostrando así un área de oportunidad en donde los métodos cuantitativos sirven para reducir los errores de los pronósticos de las diferentes referencias.

| Mini-fábrica | Enero 2012 | Febrero 2012 | Marzo 2012 | Abril 2012 | Mayo 2012 | Junio 2012 |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ACC | 52,628 | 53,002 | 53,955 | 53,224 | 51,954 | 50,989 |
| DUCHAS MEZCLAD | 68,471 | 72,656 | 77,330 | 75,718 | 75,605 | 75,492 |
| GRIF. TQ ATLANT | 932,310 | 896,062 | 882,676 | 839,460 | 834,354 | 839,858 |
| GRIF. TQ ATLAS | 1105,606 | 1112,474 | 1067,156 | 992,612 | 981,568 | 1017,409 |
| LAVAPLATOS | 102,679 | 103,749 | 104,634 | 101,003 | 100,314 | 98,831 |
| LINEA METAL | 36,245 | 37,226 | 38,464 | 38,105 | 38,413 | 40,010 |
| LL. IND. D. SF. | 507,434 | 473,150 | 457,292 | 436,182 | 430,333 | 420,447 |
| MEZC. LAV. 4P | 134,003 | 131,661 | 129,150 | 126,162 | 120,407 | 115,691 |
| MEZC. LAV. 8P | 196,024 | 201,894 | 204,713 | 196,814 | 198,522 | 195,067 |
| MUEBLE PLASTICO | 344,900 | 345,138 | 344,622 | 342,501 | 334,272 | 331,757 |
| OTROS | 184,301 | 237,336 | 269,803 | 260,990 | 263,920 | 262,870 |
| OUTSOURCING | 52,929 | 55,041 | 53,992 | 53,749 | 53,222 | 51,861 |
| TORRES | 11,229 | 14,500 | 16,644 | 16,380 | 16,600 | 16,467 |
| Total general | 233,947 | 235,411 | 235,465 | 226,334 | 224,514 | 224,347 |

Tabla 4. Promedio del MAD agrupado por mini-fábrica

| Mini-fábrica | Enero 2012 | Febrero 2012 | Marzo 2012 | Abril 2012 | Mayo 2012 | Junio 2012 |
|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| ACC | 154,113 | 148,163 | 149,163 | 141,133 | 132,552 | 126,491 |
| DUCHAS MEZCLAD | 175,383 | 171,568 | 176,018 | 167,989 | 163,921 | 162,841 |
| GRIF. TQ ATLANT | 2932,622 | 2711,649 | 2595,506 | 2397,968 | 2431,796 | 2534,284 |
| GRIF. TQ ATLAS | 4922,309 | 5014,622 | 4615,239 | 4198,191 | 4119,023 | 4296,624 |
| LAVAPLATOS | 246,380 | 240,335 | 242,079 | 231,185 | 228,073 | 220,545 |
| LINEA METAL | 62,777 | 61,016 | 63,390 | 62,105 | 60,023 | 61,105 |
| LL. IND. D. SF. | 1567,028 | 1414,604 | 1316,052 | 1240,983 | 1233,783 | 1176,374 |
| MEZC. LAV. 4P | 327,054 | 310,321 | 301,248 | 281,226 | 267,489 | 251,471 |
| MEZC. LAV. 8P | 857,061 | 963,953 | 990,455 | 956,782 | 1017,358 | 1010,609 |
| MUEBLE PLASTICO | 1304,938 | 1368,490 | 1456,415 | 1512,403 | 1448,600 | 1468,161 |
| OTROS | 346,585 | 392,672 | 438,535 | 418,569 | 413,452 | 403,074 |
| OUTSOURCING | 102,445 | 107,418 | 105,048 | 102,369 | 99,440 | 95,128 |
| TORRES | 8,983 | 12,947 | 15,939 | 14,310 | 14,716 | 14,576 |
| Total general | 1366,358 | 1360,957 | 1302,929 | 1223,200 | 1215,985 | 1248,820 |

Tabla 5. Promedio de las desviaciones del MAD agrupadas por mini-fábrica

La generación de pronósticos errados tiene desviaciones medias absolutas de, en promedio, 220 unidades por cada mini-fábrica. En el **Anexo 1** (CD) se puede observar la demanda real de todas las referencias de producto terminado, junto con los pronósticos del último año de todas las referencias. Allí se pueden observar las grandes variaciones que existen entre las referencias, evidenciando que el promedio de las desviaciones medias absolutas agrupadas por canal puede mostrar un menor impacto de lo que realmente es.

Se observa un gran potencial para el uso de modelos cuantitativos que permitan realizar un mejor análisis y trazabilidad a la gestión de los pronósticos, eliminando el problema de la autocorrelación en las series de tiempo, garantizando un excelente análisis de los datos y mejorando el canal de comunicación entre el área de operaciones y el área comercial, a partir de un modelo teórico robusto y de fácil análisis.

El proceso de programación de la producción dentro de la empresa también se está llevando a cabo diariamente de forma manual en Excel. Debido a que la empresa trabaja bajo el sistema de producción sobre pedido en la mayoría de las referencias, se debe esperar a que los pedidos entren a la empresa para que sean convertidos en órdenes de fabricación. Estas órdenes de fabricación se clasifican en cada una de las mini-fábricas correspondientes a los productos solicitados, y son estas mismas las que programan manualmente cada uno de los jefes de las mini-fábricas todos los días. La modalidad de producción bajo pedido supone una excelente planeación y programación de la producción para que se puedan satisfacer los requerimientos de los clientes y garantizar una buena facturación.

Actualmente la empresa no cuenta con una metodología o herramienta formal que permita realizar la programación de la producción en las líneas de ensamble de cada una de las mini-fábricas con un horizonte de tiempo mayor, teniendo en cuenta las restricciones asociadas a las mini-fábricas, el valor de los pedidos y la prioridad que tiene cada uno de los canales de distribución para la empresa. Esto se puede ver reflejado en la facturación efectiva de cada periodo.

En la **Tabla 6** se pueden observar los valores de los pedidos pendientes a términos del mes de Junio, Julio y Agosto de 2012, agrupados por mini-fábrica. Esto demuestra que el problema de la empresa no es de demanda sino de capacidad, en donde una herramienta para realizar la programación de la producción es fundamental para garantizar que los recursos, en este caso escasos, sean utilizados de la mejor forma. Una mejora en el proceso de programación de la producción generaría una disminución en los valores de facturación pendiente que se muestran a continuación.

| Mini-fábrica | Junio de 2012 | Julio de 2012 | Agosto de 2012 | TOTAL |
|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| DUCHAS | \$ 391.925.856,39 | \$ 287.853.573,19 | \$ 364.705.222,40 | \$ 1.044.484.651,98 |
| LVM METAL | \$ 306.344.730,21 | \$ 337.858.582,08 | \$ 181.708.177,20 | \$ 825.911.489,49 |
| LAVAPLATOS | \$ 290.808.939,85 | \$ 438.294.308,27 | \$ 292.007.941,39 | \$ 1.021.111.189,51 |
| LVM PLASTICA | \$ 144.909.287,99 | \$ 166.726.403,56 | \$ 86.032.904,12 | \$ 397.668.595,67 |
| ACCESORIOS | \$ 112.293.859,07 | \$ 142.883.712,95 | \$ 328.568.891,67 | \$ 583.746.463,69 |
| REGULACIONES | \$ 78.635.884,44 | \$ 91.539.181,27 | \$ 101.564.972,53 | \$ 271.740.038,24 |
| INSTITUCIONAL | \$ 65.446.404,09 | \$ 135.270.759,64 | \$ 106.169.136,76 | \$ 306.886.300,49 |
| BANOS | \$ 57.978.412,46 | \$ - | \$ 43.465.811,82 | \$ 101.444.224,28 |
| ASIENTOS SANIT | \$ 41.501.292,56 | \$ 6.610.430,87 | \$ 4.018.046,24 | \$ 52.129.769,66 |
| GT ATLAS | \$ 29.435.245,68 | \$ 6.441.629,08 | \$ 20.668.575,43 | \$ 56.545.450,19 |
| GRIFERIA TANQUE | \$ 9.957.143,73 | \$ 44.504.464,46 | \$ 50.164.478,29 | \$ 104.626.086,49 |
| GT ATLANTIS | \$ 210.110,19 | \$ 645,00 | \$ 2.042.579,61 | \$ 2.253.334,80 |
| REG/VALV/CONEC | \$ 81.586,21 | \$ - | \$ 738.232,65 | \$ 819.818,86 |
| TOTAL | \$ 1.529.528.752,86 | \$ 1.657.983.690,37 | \$ 1.581.854.970,10 | \$ 4.769.367.413,33 |

Tabla 6. Valores de facturación pendiente por mini-fábrica

Existe un gran potencial de mejora y un área de oportunidad clara al observar los valores en la **Tabla 6**, y también se aprecia la oportunidad y viabilidad de la implementación de modelos de optimización para la programación de la producción, que brindan los métodos cuantitativos, para hacer un buen uso y asignación de los recursos dentro de la empresa. La programación de la producción a partir de modelos de optimización en las empresas puede llegar a un excelente resultado en un tiempo de ejecución aceptable⁶⁴, y así lograr incrementar la velocidad de

⁶⁴CABALLERO V., Juan y ALVARADO, V., Jorge. Op. Cit. p 7.

facturación dentro de un determinado periodo, teniendo en cuenta las restricciones de cada recurso, la prioridad de los canales de distribución y el valor de los pedidos.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos de la empresa se debe contar con un sistema de planeación de la demanda confiable y eficiente, que tenga en cuenta varios modelos y su desempeño, y que permita la integración efectiva de las áreas involucradas en la generación de los pronósticos. Por otro lado, se debe contar con una herramienta que permita realizar la programación de la producción en las líneas de ensamble de las diferentes mini-fábricas de la empresa, con el fin de asignar recursos de forma eficiente a los diferentes trabajos que se presenten, brindando un mayor horizonte de planeación y teniendo en cuenta las restricciones de los mismos.

CAPÍTULO III. PRONÓSTICOS

1. Antecedentes

Teniendo en cuenta que el proceso de generación de pronósticos es la entrada al sistema de planeación de la producción, y según la teoría de los sistemas, para que la salida de un proceso sea la deseada, la entrada debe ser la indicada, este proceso es fundamental para el desarrollo de un buen plan de producción. Como se veía en la sección 3 del Capítulo II, planteamiento del problema, el proceso de generación de pronósticos en la empresa no se está llevando a cabo de forma óptima. Al no utilizar de forma eficiente los recursos tecnológicos que se tienen a la mano, y observando la falta de implementación de la política colaborativa dentro de la empresa, se vio una gran oportunidad de mejora en este proceso.

En la **Figura 14** (Pg. 39) se puede apreciar el diagrama del proceso actual de generación de pronósticos en la empresa Grifería y Complementos Corona, teniendo en cuenta el proceso cuantitativo y cualitativo. Se observan dos momentos clave que son la revisión de los datos históricos y la generación del pronóstico cuantitativo de cada una de las referencias, y la generación del pronóstico ajustado en conjunto con el área comercial, para llegar finalmente a un consenso. Cada uno de estos procesos se muestra a continuación (ver Figuras 13 y 15).

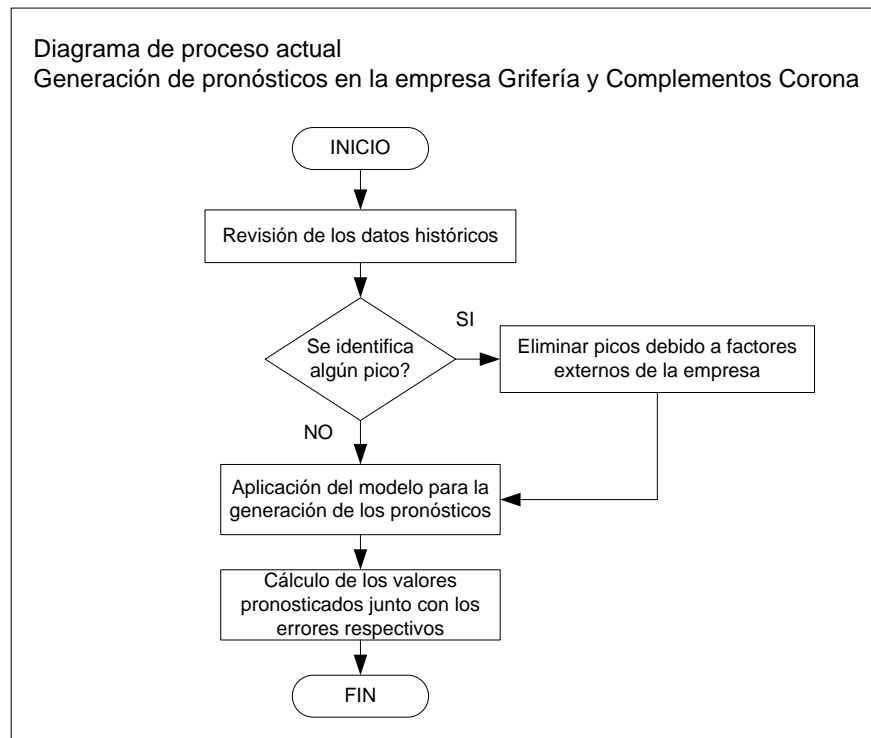


Figura 13. Diagrama del proceso de generación de pronósticos en la empresa Grifería y Complementos Corona a partir de datos históricos

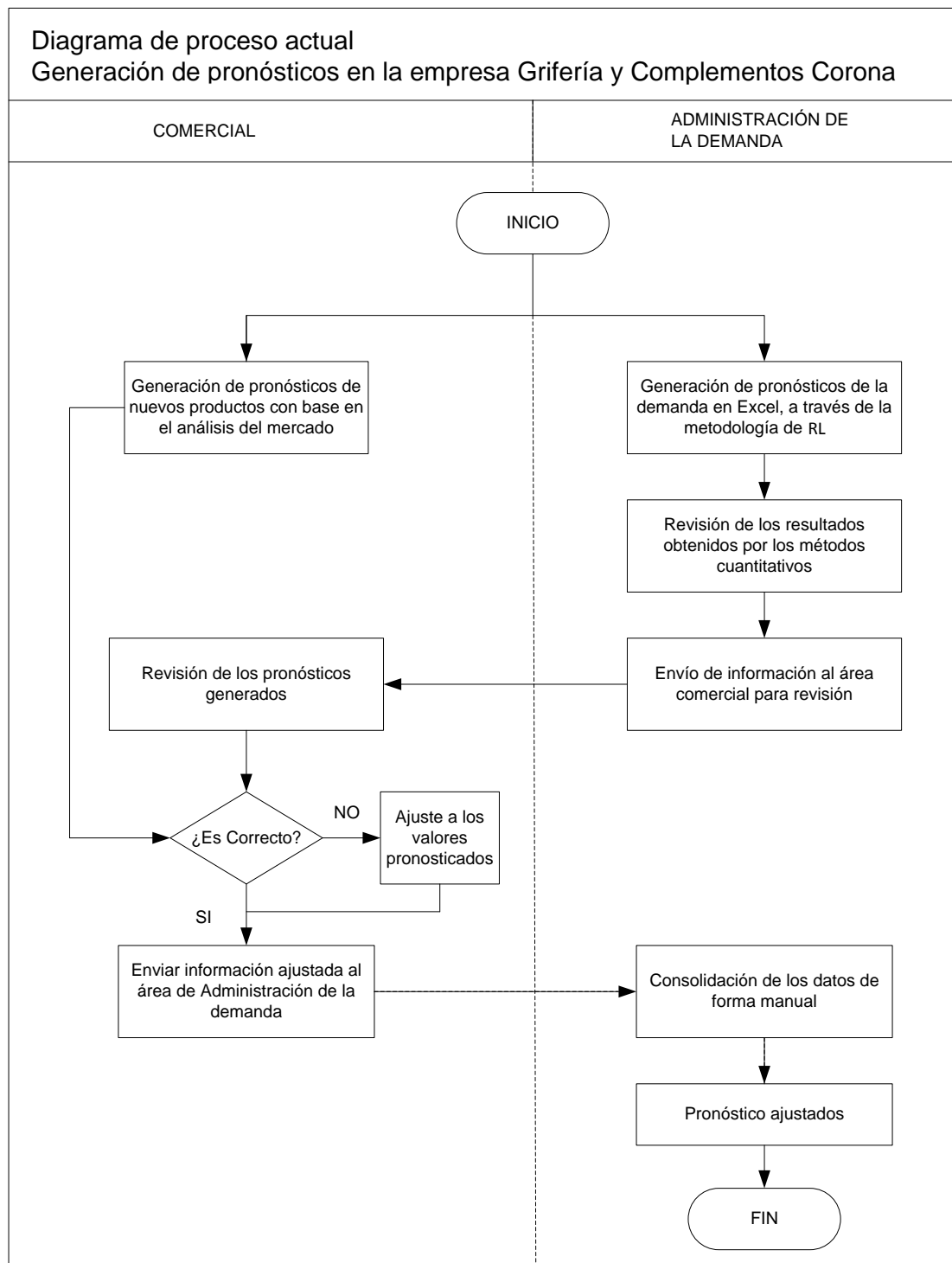


Figura 14. Diagrama del proceso de generación de pronósticos en la empresa Grifería y Complementos Corona

En la **Figura 13** se puede apreciar que el único momento dentro del proceso de generación de los pronósticos en donde se está teniendo en cuenta el comportamiento de los datos es en el proceso de eliminación de picos. Al no realizar ningún tipo de inspección visual al comportamiento de los datos es muy difícil decidir el método de pronósticos que más se ajusta dependiendo del comportamiento de los mismos. La empresa realiza todos sus pronósticos con base en el modelo de regresión lineal simple, el cual le sirve para realizar los pronósticos del siguiente periodo y hasta 6 meses más adelante. Por otro lado, los errores de los pronósticos se están calculando, pero no se tiene una trazabilidad de los errores de los mismos a lo largo de los periodos. Una gestión eficiente sobre los errores permite darse cuenta a tiempo de los cambios que se deben hacer a los modelos.

Adicionalmente, en la **Figura 15** se observa que el proceso de generación de consenso entre el área comercial y el área de administración de la demanda se da en el momento en que se tienen los pronósticos cuantitativos de la demanda listos, y se necesitan validar con la gente que conoce el mercado.

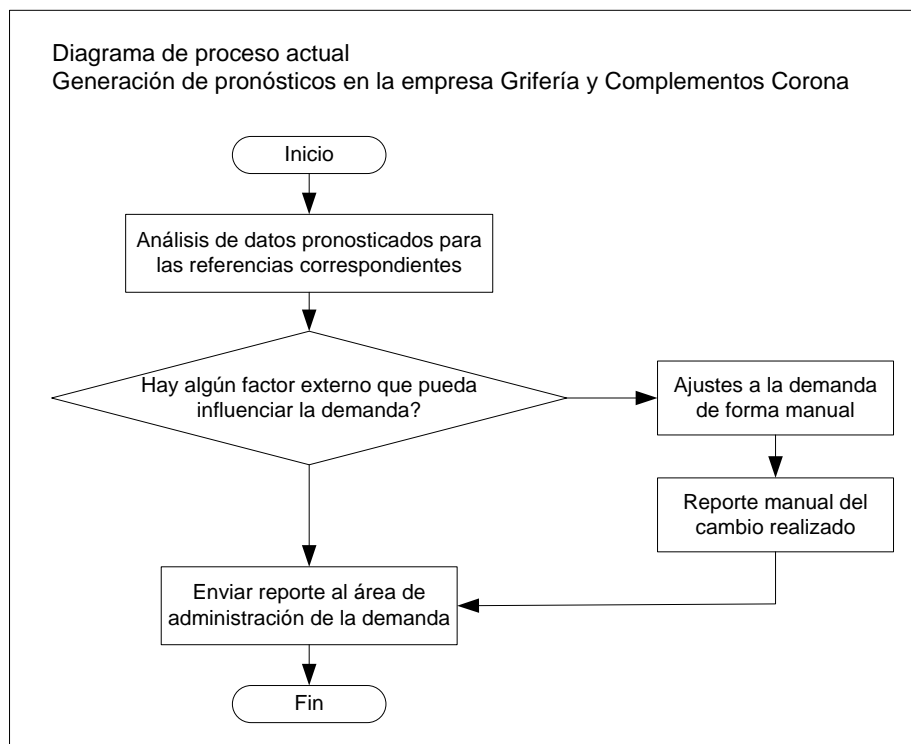


Figura 15. Diagrama del proceso de consenso en la generación de pronósticos en la empresa Grifería y Complementos Corona

Debido a que el proceso de consenso es uno de los más importantes dentro del proceso de generación de los pronósticos en la empresa, se debería realizar conjuntamente. Los comerciales deberían tener en cuenta las tendencias del mercado y la información que brindan los datos históricos, y no solamente el conocimiento que tienen del mercado. Antes de generar el modelo

no se está teniendo en cuenta el comportamiento de los datos históricos, lo cual puede estar generando desviaciones altas entre la generación de los pronósticos de forma cuantitativa, y el valor al que se llega de forma cualitativa. Por otro lado, el ajuste de los datos se realiza manualmente por familia de productos y se envía por correo al área de administración de la demanda, que tiene que consolidar la información para llegar a los pronósticos de la demanda ajustados.

2. Recolección de datos

El proceso de recolección de los datos históricos consistió en consolidar archivos de colocaciones desde Septiembre de 2009, teniendo en cuenta el total de unidades solicitadas y pronosticadas para la misma fecha. Se debe tener en cuenta que varios de los productos fueron descontinuados a lo largo del tiempo, mientras que por otro lado hubo bastantes lanzamientos de nuevos productos. Asimismo, se identificaron y analizaron los picos y valles de la demanda. Todo esto se tuvo en cuenta dentro del análisis de los datos, garantizando una excelente base cuantitativa para construir los modelos de pronósticos. De dichos datos surge el **Anexo 1**, en donde se pueden apreciar los datos de demanda reales de cada una de las referencias que maneja la empresa, así como también los pronósticos y los errores de los pronósticos respectivos.

El tamaño de la muestra con el que se trabajó fue de 34 datos (Septiembre de 2009 a Junio de 2012). El trabajar con valores de entre 2 y 3 años atrás disminuye la probabilidad de generar ruido en la muestra, y garantiza un mejor valor en los pronósticos por la misma razón⁶⁵.

3. Priorización

Para realizar un diagnóstico y análisis de la situación actual, y teniendo en cuenta la cantidad de referencias que maneja la empresa en las diferentes mini-fábricas, como se observaba en la **Tabla 3**, se va a realizar una priorización de las líneas de negocio sobre las cuales es determinante plantear una mejora. Estas deben impactar a gran escala la productividad de la empresa y la disminución en los errores de la generación de los pronósticos, demostrando ahorros notables para la empresa tanto en sus niveles de inventario como en la trazabilidad que se le pueda hacer a dichas referencias.

En la **Tabla 7** se pueden observar las diferentes mini-fábricas que hacen parte de cada línea de negocio, y en la **Figura 16** se puede observar el diagrama de Pareto para dichas líneas de negocio. El criterio con base en el cual se tomó la decisión de trabajar la mejora en el proceso de generación de pronósticos se decidió conjuntamente con la empresa, y fue el de la facturación por línea de negocio. Una vez se tiene este criterio en cuenta, se seleccionan las referencias sobre las cuales se debe trabajar para tener el impacto deseado en la empresa.

⁶⁵ HANKE, Jhon E. y WICHERN, Dean W. Op. cit., p 391.

| Líneas de negocio | Mini-fábricas | Facturación 2012 | Total facturación/Línea |
|-------------------|-----------------|----------------------|------------------------------|
| Baños y cocinas | DUCHAS MEZCLAD | \$ 22.956.388.886,42 | \$ 51.000.787.167,28 |
| | LAVAPLATOS | \$ 15.766.650.043,05 | |
| | MEZC. LAV. 4P | \$ 4.599.592.127,40 | |
| | MEZC. LAV. 8P | \$ 7.678.156.110,41 | |
| Asientos | MUEBLE PLASTICO | \$ 28.908.059.652,90 | \$ 28.908.059.652,90 |
| Herrajes | GRIF. TQ ATLANT | \$ 24.590.272.293,29 | \$ 38.621.363.221,16 |
| | GRIF. TQ ATLAS | \$ 14.031.090.927,86 | |
| Accesorios | ACC | \$ 7.780.368.801,52 | \$ 24.696.412.020,58 |
| | OTROS | \$ 8.192.450.995,25 | |
| | OUTSOURCING | \$ 8.723.592.223,81 | |
| Reg/Valv. | LINEA METAL | \$ 8.399.987.119,37 | \$ 18.484.187.974,17 |
| | LL. IND. D. SF. | \$ 10.084.200.854,80 | |
| Torres | TORRES | \$ 657.871.092,65 | \$ 657.871.092,65 |
| TOTAL | | | \$ 162.368.681.128,74 |

Tabla 7. Facturación por línea de negocio

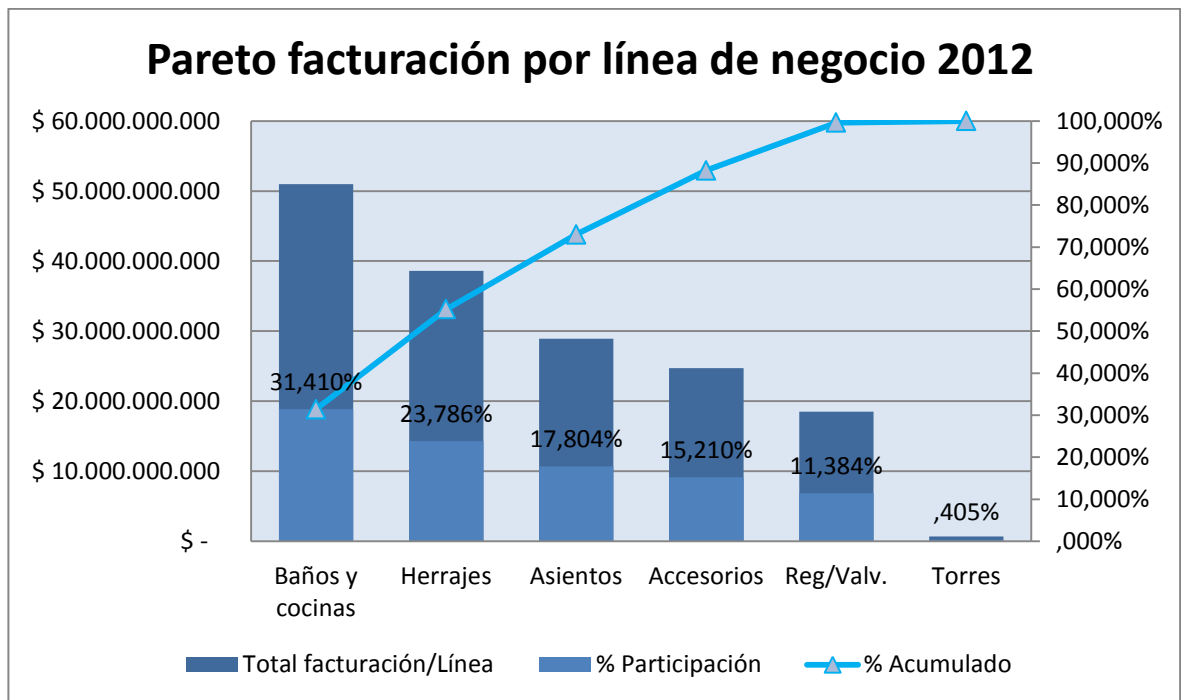


Figura 16. Diagrama de Pareto para la facturación por línea de negocio

Como se puede observar en la **Figura 16**, la línea de negocio de Baños y Cocinas ha generado, desde Enero de 2012 hasta Junio de 2012, el 31,41% de los ingresos para la empresa Grifería y Complementos Corona. Esto demuestra que es una de las líneas de negocio más representativas de la compañía y que a su vez le genera el mayor flujo de caja a la misma. Una mejora en el sistema de pronósticos para esta línea de negocio no solo tendría impacto en las unidades

pronosticadas y su ajuste con la realidad, sino gran influencia sobre la asignación de recursos físicos, materiales y humanos previstos para cumplir con dichas unidades. Un pronóstico más ajustado con base en modelos cuantitativos robustos garantizaría un mejor uso de los recursos de la empresa.

Teniendo en cuenta que la línea de Baños y Cocinas es la línea de negocio que mayor portafolio presenta, contando con un total de 1438 referencias de producto terminado, es mandatorio realizar un análisis detallado a las referencias más representantes de dicha línea. Para poder realizar este análisis fue pertinente realizar la respectiva recolección de datos y la validación de los mismos.

De las referencias que componen la línea de negocio de Baños y Cocinas se realizó un análisis de Pareto teniendo en cuenta la facturación total por referencia, como se muestra en la **Figura 18** (Pg. 34). A partir del análisis de Pareto realizado, se puede observar que el 80% de los ingresos lo generan 289 referencias, es decir, aproximadamente el 20,1% del total de referencias de dicha línea. Teniendo en cuenta la gran cantidad de referencias que representan el 80% de los ingresos, se decidió realizar un “Pareto sobre Pareto”, para tener un número más razonable con el cual se pueda trabajar. El diagrama se puede observar en la **Figura 17**, en donde se observa que el 80% de los ingresos los generan el 53,98% de las referencias, es decir, 156. Finalmente se decidió trabajar sobre las referencias que generaron el 40% de los ingresos a la empresa. En este orden de ideas, se tomaron las 35 referencias que generaron ingresos superiores a los \$250.000.000 de pesos en el primer semestre del año, que corresponden al 12,11% del total de las referencias.

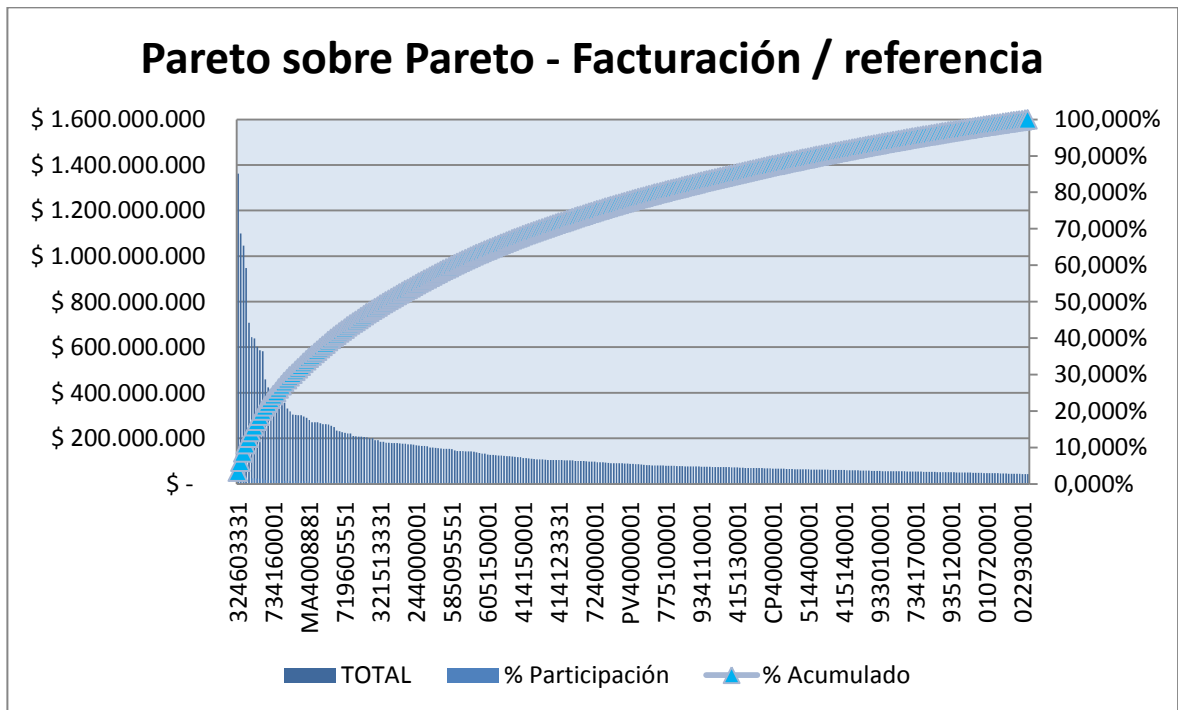


Figura 17. Diagrama de Pareto sobre Pareto de las referencias seleccionadas de la línea de baños y cocinas

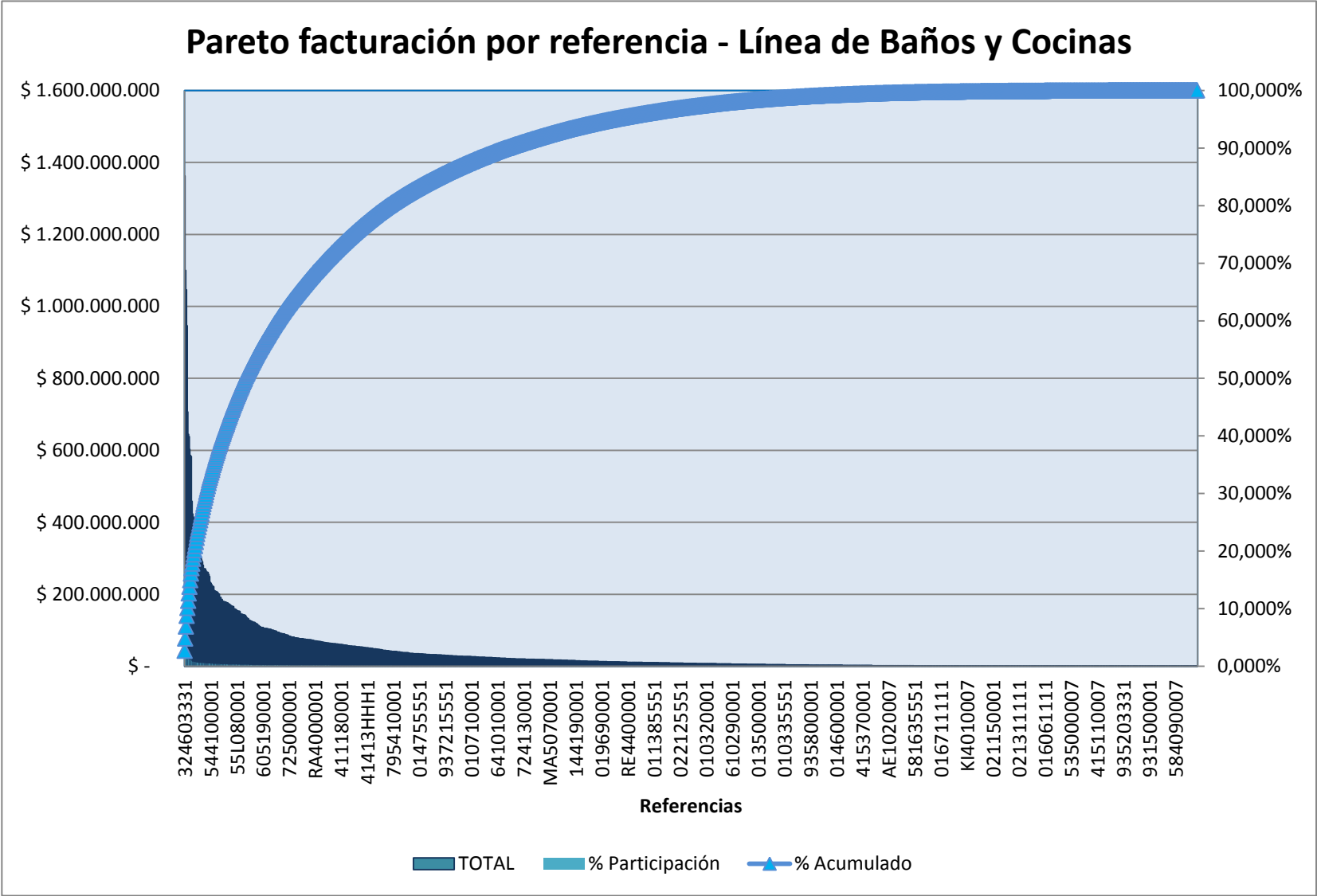


Figura 18. Diagrama de Pareto para la facturación del total de referencias de la línea de baños y cocinas.

Las referencias sobre las cuales se va a realizar la propuesta de mejora para la generación de pronósticos a partir de modelos autorregresivos se pueden observar en la **Tabla 8**.

| REFERENCIA | MINI FABRICA | DESCRIPCION |
|------------|----------------|---|
| 324603331 | DUCHAS MEZCLAD | PqteDhSenc Briza x 4 |
| 019190001 | MEZC. LAV. 8P | Rpto Grapa Lvm 2Und |
| 591360001 | MEZC. LAV. 4P | CjLvm 4p Crr-r Vento Eco |
| 415165551 | LAVAPLATOS | SubcjLvp 8P Athenea Pico Higt Arc |
| 545050001 | LAVAPLATOS | SubcjMezclLvp Piscis Pico Cisne |
| 324403331 | DUCHAS MEZCLAD | Pqte Registro Briza x6 |
| 380183331 | MEZC. LAV. 8P | PqteGriflexLvm x 12 |
| 734010001 | DUCHAS MEZCLAD | *C* Ducha Electrica 110v Lanni |
| 544108881 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha SSB 8P Talori constructor |
| 414110001 | DUCHAS MEZCLAD | Dh 8P Cta Balta SU SSB |
| 414175551 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha Mezc SSB Athenea |
| 414120001 | DUCHAS MEZCLAD | Dh 8P Plnca Balta SU SSB |
| 591450001 | MEZC. LAV. 4P | GriferiaLvmCj4Plg Vento E |
| 734160001 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha Electrica 110v Tempesta EA |
| 544300001 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha Senc Piscis BI |
| 324503331 | DUCHAS MEZCLAD | PqteMezcDh Briza x 4 |
| 794190001 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha Monocontrol SSB Tunez |
| NH4010001 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha Monoc SSB Nahla |
| 584108881 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha SSB Kelda constructor |
| 380140001 | MEZC. LAV. 8P | GriflexLvm/Lvp EA |
| 325643331 | LAVAPLATOS | PqteLvpSen Briza+Griflx4 |
| 414130001 | DUCHAS MEZCLAD | Dh Sencilla Cta Balta |
| RE4000001 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha SSB Retto |
| 325653331 | LAVAPLATOS | PqteMezclLvp Briza+can4x4 |
| 018043331 | MEZC. LAV. 8P | PqteVastago Ducha x 6 |
| 585920001 | LAVAPLATOS | CjLvpMezclFenix |
| MA4008881 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha Monocontrol SSB Malva constructor |
| 435003331 | LAVAPLATOS | PqteSubcjMezclLvpDalia+Clla 4P X 4 |
| 724208881 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha SSB Plnca Vera constructor |
| 724200001 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha mezc SSB Plnca Novo |
| VA5008881 | LAVAPLATOS | SubcjLvpMonoc Vera constructor |
| 594108881 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha SSB Cora constructor |
| 415000001 | LAVAPLATOS | CjLvp 8P Cta Balta Pico Prakti |
| 935125551 | LAVAPLATOS | Cnlla 4Plg +SfonP+Griflx x2 M16 CP2 |
| 794200001 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha Monoc. SSB Praga |

Tabla 8. Referencias seleccionadas para el análisis

4. Modelo propuesto para la generación de pronósticos

Dentro de los modelos cuantitativos presentados en el Capítulo I, nos encontramos con la metodología ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), desarrollada en los años 70's por los estadísticos G.E.P. Box y G.M. Jenkins. De ahí que esta metodología también es conocida como metodología de Box – Jenkins. Esta metodología surge como solución al problema de la autocorrelación que presentan las series de tiempo, y dado que en la empresa Grifería y Complementos Corona todos los pronósticos están basados en las regresiones lineales y el análisis de las series de tiempo, se decidió realizar una propuesta de mejora basada en esta metodología como solución al problema de los pronósticos errados. Por medio de la propuesta de mejora basada en esta metodología se espera reducir los errores de los pronósticos y estimar un beneficio potencial si el modelo se aplicara a todas las referencias de la compañía.

5. Análisis del modelo

El análisis de la generación de los pronósticos basados en la metodología ARIMA se realizó en el programa estadístico *SPSS Statistics 17.0®*, en donde se observó la viabilidad e impacto del modelo. Por otro lado, y teniendo en cuenta los requerimientos de la empresa, se realizó un programa en Excel que sirve como herramienta para la realización de los pronósticos con base en esta metodología.

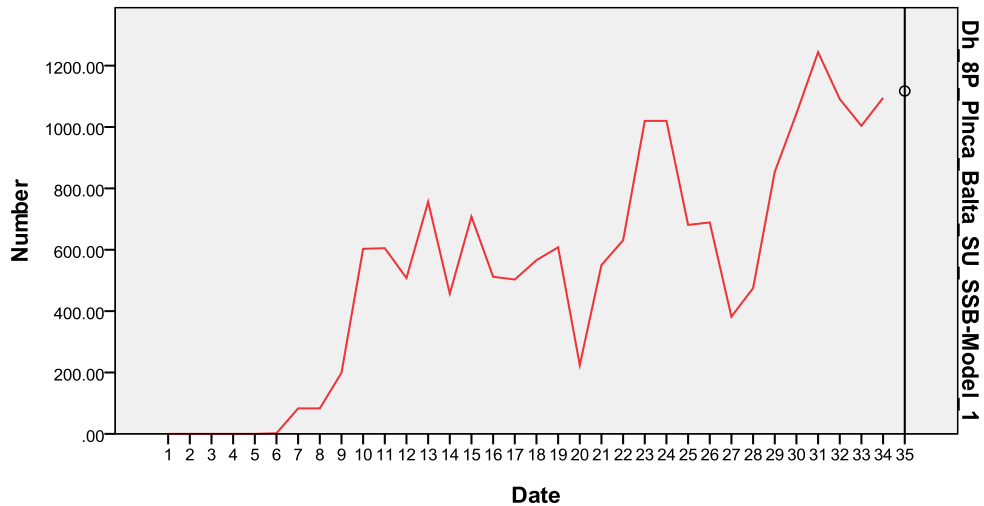
5.1. Análisis ARIMA por referencia

El siguiente esquema se tiene en cuenta para el análisis de cada una de las 35 referencias. Dentro del cuerpo del trabajo se presentan los tres casos más representativos de las 35 referencias, mientras que en el **Anexo 2** (CD) se muestra la totalidad del análisis.

Hubo 2 referencias (la **734010001** y la **734160001**) a las cuales no se les pudo realizar el respectivo análisis, debido a la falta de datos históricos. Esto se debió a que dichas referencias eran nuevos lanzamientos, y no se les puede asignar ningún modelo.

- Referencia **414120001**, Dh_8P_Plnca_Balta_SU_SSB

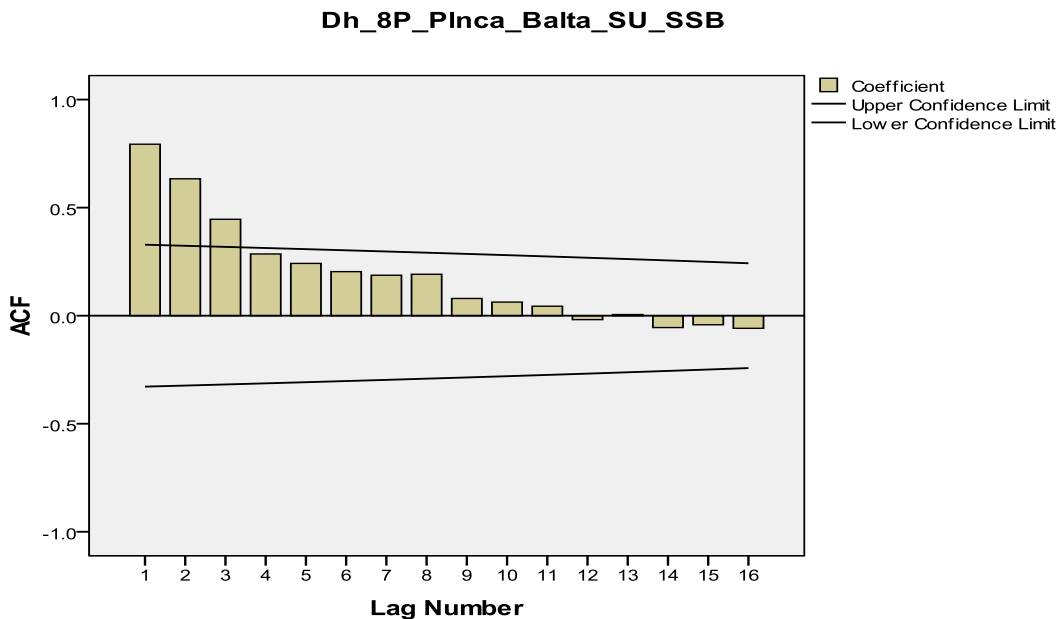
Gráfica de serie de tiempo:



En esta gráfica se puede observar que la serie de tiempo para la referencia **414120001** tiene una marcada tendencia creciente a excepción de algunos picos de demanda decreciente en los periodos 20, 27 y 32. Para determinar que metodología ARIMA se debe utilizar, es necesario realizar el análisis de las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales que presenta la serie. Esto indicará el grado de relación entre los datos observados, y su comportamiento para diferentes retrasos en los datos.

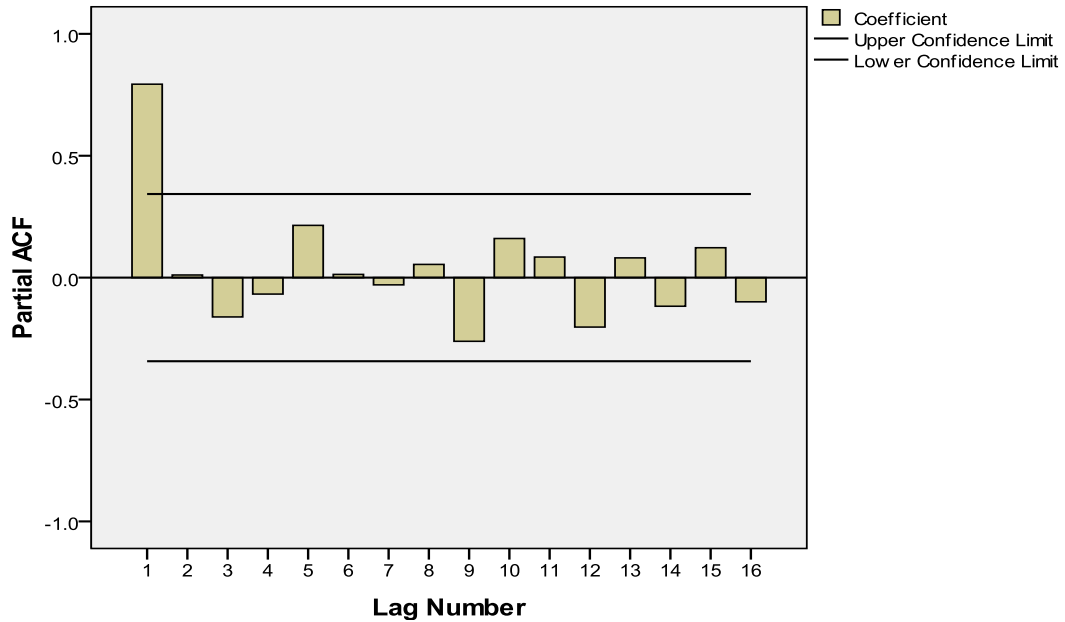
Gráficas de Autocorrelación Simple (FACS) y Autocorrelación Parcial (FACP):

FACS



FACP

Dh_8P_Plnca_Balta_SU_SSB



Según la sección “Análisis de gráficas de autocorrelación en la metodología ARIMA”, presentada en la sección de Marco Teórico del Capítulo II, se observa que el comportamiento de esta serie de tiempo se puede asociar a un modelo ARIMA (1,1,1).

Para asegurarse de que el modelo se ajusta a los datos de forma significativa, se recurrió a una prueba Chi cuadrada basada en la estadística de Ljung-Box Q , en donde se evalúa el p – *valor* asociado con la estadística Q . Si el p – *valor* es menor a la significancia con la que se trabaja el modelo (en este caso del 5%), es decir, si $p < 0.05$, se considera que el modelo es inadecuado. Se obtuvo un valor del 0.114, indicando que el modelo se ajusta de forma satisfactoria a la serie de tiempo, como se muestra a continuación:

| Model | Number of Predictors | Ljung-Box $Q(18)$ | | | Number of Outliers |
|--------------------------------------|----------------------|-------------------|----|------|--------------------|
| | | Statistics | DF | Sig. | |
| Dh_8P_Plnca_Balta_SU_SS B-Model_1 | 0 | 22.974 | 16 | .114 | 0 |

En este orden de ideas, se generó el siguiente pronóstico para el primer semestre del año 2012, comprendido entre los meses de Enero y Junio.

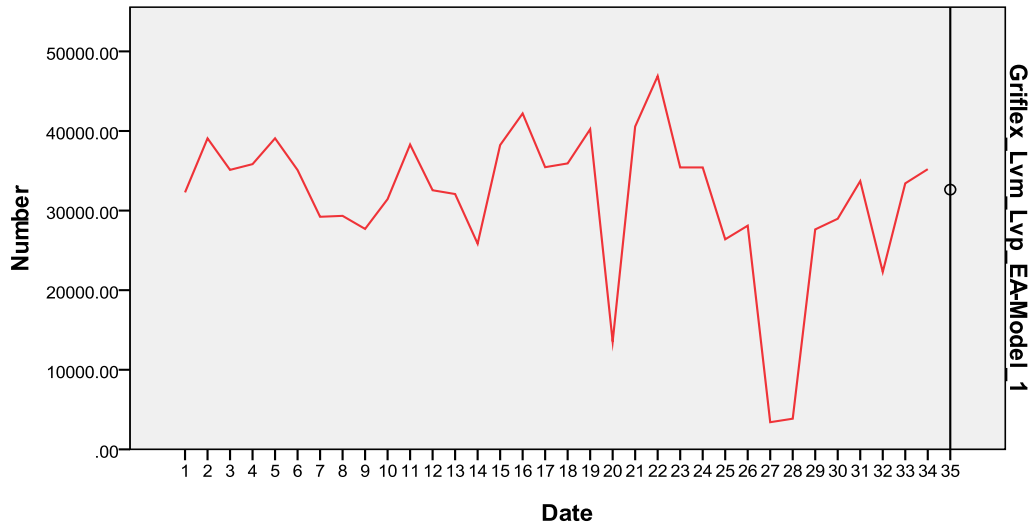
| | Demanda real | Pronóstico anterior | Diferencia Absoluta | Nuevo pronóstico | Diferencia Absoluta |
|-------------------|--------------|---------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| Enero | 854 | 476 | 378 | 841,53 | 12,47 |
| Febrero | 1044 | 562 | 482 | 1064,59 | 20,59 |
| Marzo | 1244 | 691 | 553 | 1255,69 | 11,69 |
| Abril | 1091 | 874 | 217 | 1155,76 | 64,76 |
| Mayo | 1004 | 991 | 13 | 1047,25 | 43,25 |
| Junio | 1095 | 989 | 106 | 1117,35 | 22,35 |
| Cuadro resultados | | MAD | 291,5 | MAD | 29,185 |
| | | Red, MAD | 262,315 | % Red, MAD | 89,99% |

Tabla 9. Análisis para referencia **414120001**

Se observa una alta disminución en el indicador de la desviación media absoluta de 262 unidades para el último mes. Esto significa una reducción en el MAD de aproximadamente el 90%, demostrando la efectividad de dicho modelo.

- Referencia **380140001**, Griflex_Lvm_Lvp_EA

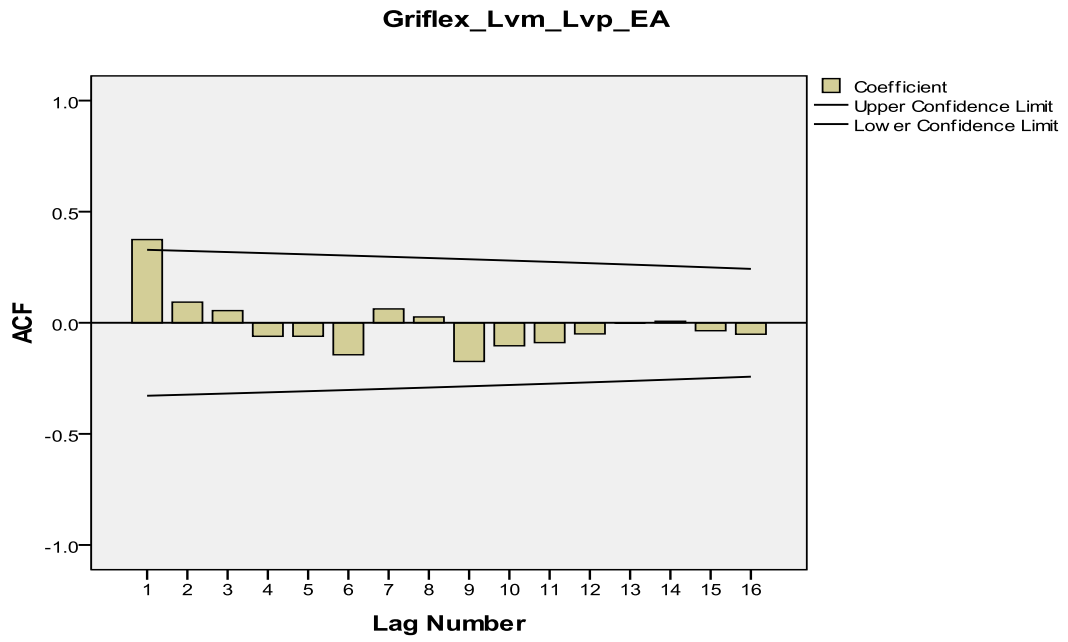
Gráfica de serie de tiempo:



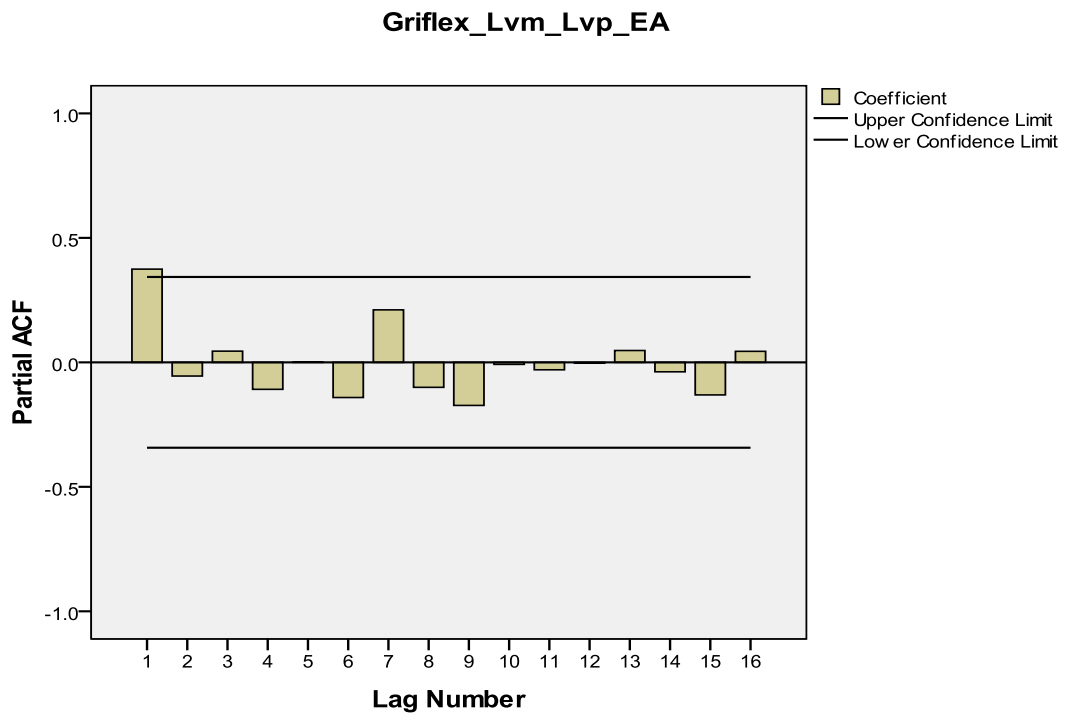
En esta gráfica se puede observar que la serie de tiempo para la referencia **380140001** no tiene tendencia definida, y que presenta una variación sobre una media fija, indicando que es una serie estacionaria. Para determinar que metodología ARIMA se debe utilizar, es necesario realizar el análisis de las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales que presenta la serie. Esto indicará el grado de relación entre los datos observados, y su comportamiento para diferentes retrasos en los datos.

Gráficas de Autocorrelación Simple (FACS) y Autocorrelación Parcial (FACP):

FACS



FACP



Según la sección “Análisis de gráficas de autocorrelación en la metodología ARIMA”, presentada en la sección de Marco Teórico del Capítulo II, se observa que el comportamiento de esta serie de tiempo se puede asociar a un modelo ARIMA (1,0,1).

Para asegurarse de que el modelo se ajusta a los datos de forma significativa, se recurrió a una prueba Chi cuadrada basada en la estadística de Ljung-Box Q , en donde se evalúa el p – *valor* asociado con la estadística Q . Si el p – *valor* es menor a la significancia con la que se trabaja el modelo (en este caso del 5%), es decir, si $p < 0.05$, se considera que el modelo es inadecuado. Se obtuvo un valor del 0.992, indicando que el modelo se ajusta de forma satisfactoria a la serie de tiempo, como se muestra a continuación:

| Model | Number of Predictors | Ljung-Box Q(18) | | | Number of Outliers |
|----------------------------|----------------------|-----------------|----|------|--------------------|
| | | Statistics | DF | Sig. | |
| Griflex_Lvm_Lvp_EA-Model_1 | 0 | 5.612 | 16 | .992 | 0 |

En este orden de ideas, se generó el siguiente pronóstico para el primer semestre del año 2012, comprendido entre los meses de Enero y Junio.

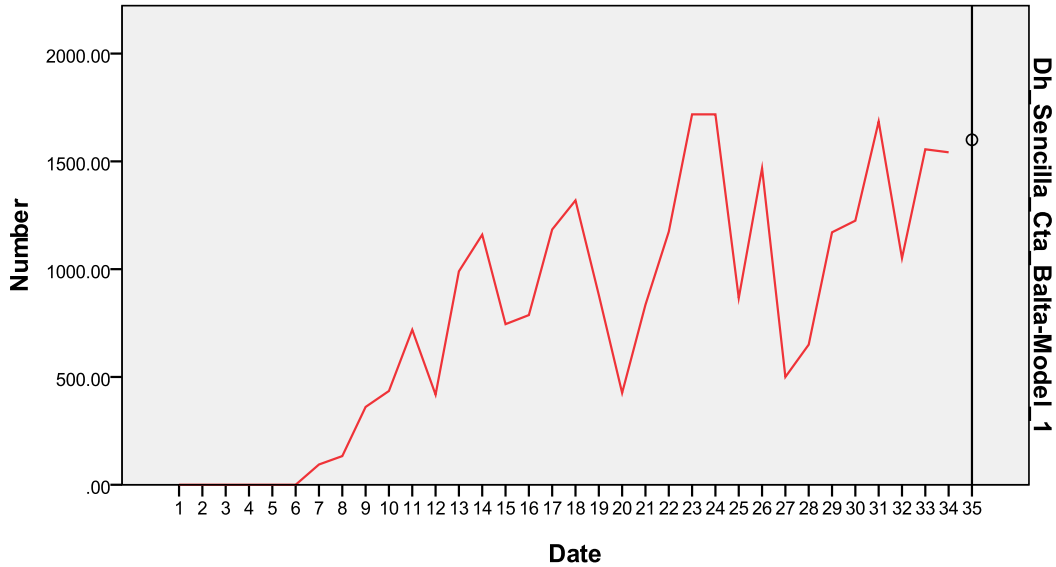
| | Demanda real | Pronóstico anterior | Diferencia Absoluta | Nuevo pronóstico | Diferencia Absoluta |
|-------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Enero | 27635 | 13475 | 14160 | 31754,21 | 4119,21 |
| Febrero | 28974 | 15194 | 13780 | 30453,57 | 1479,57 |
| Marzo | 33703 | 16587 | 17116 | 32577,73 | 1125,27 |
| Abril | 22294 | 19776 | 2518 | 27661,58 | 5367,58 |
| Mayo | 33421 | 20365 | 13056 | 33041,3 | 379,7 |
| Junio | 35203 | 19938 | 15265 | 32634,37 | 2568,63 |
| Cuadro resultados | | MAD | 12649,16667 | MAD | 2506,66 |
| | | Red, MAD | 10142,50667 | % Red, MAD | 80,18% |

Tabla 10. Análisis para referencia **380140001**

Se observa una disminución en el indicador de la desviación media absoluta de 10142 unidades para el último mes. Esto significa una reducción en el MAD de aproximadamente el 80.18%, la cual demuestra la efectividad de dicho modelo.

- Referencia **414130001**, Dh_Sencilla_Cta_Balta

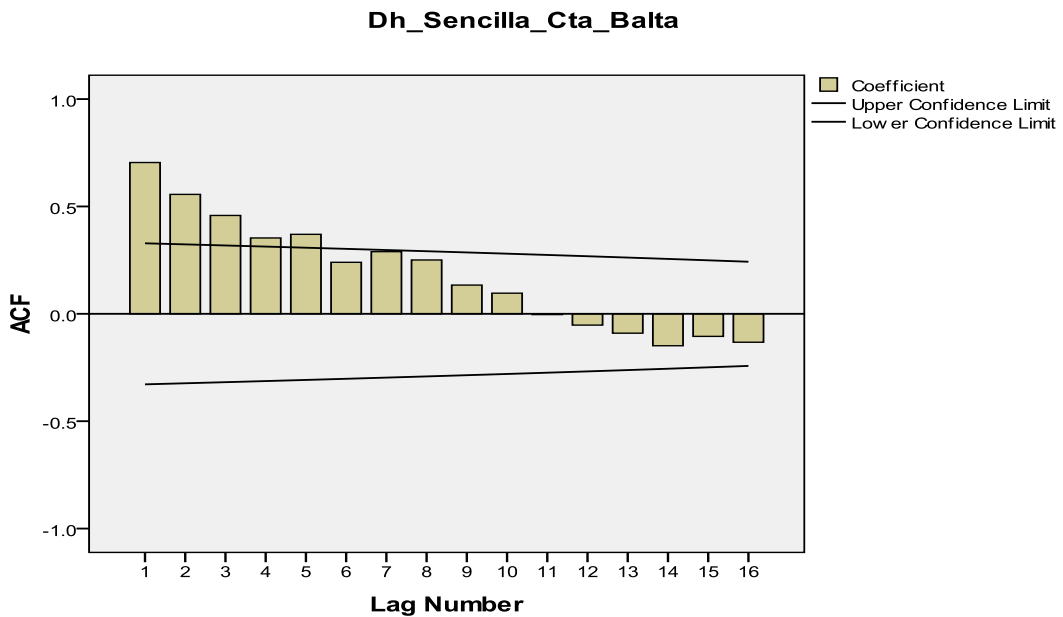
Gráfica de serie de tiempo:



En esta gráfica se puede observar que la serie de tiempo para la referencia **414130001** tiene tendencia creciente. Para determinar que metodología ARIMA se debe utilizar, es necesario realizar el análisis de las autocorrelaciones y las autocorrelaciones parciales que presenta la serie. Esto indicará el grado de relación entre los datos observados, y su comportamiento para diferentes retrasos en los datos.

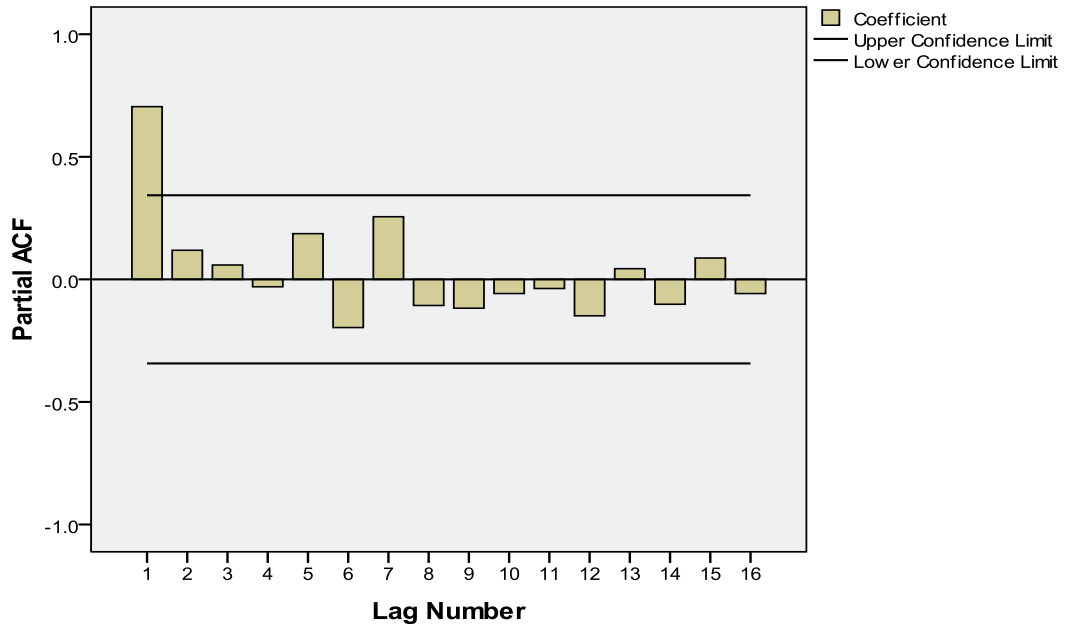
Gráficas de Autocorrelación Simple (FACS) y Autocorrelación Parcial (FACP):

FACS



FACP

Dh_Sencilla_Cta_Balta



Según la sección “Análisis de gráficas de autocorrelación en la metodología ARIMA”, presentada en la sección de Marco Teórico del Capítulo II, se observa que el comportamiento de esta serie de tiempo se puede asociar a un modelo ARIMA (1,1,1).

Para asegurarse de que el modelo se ajusta a los datos de forma significativa, se recurrió a una prueba Chi cuadrada basada en la estadística de Ljung-Box Q , en donde se evalúa el p – *valor* asociado con la estadística Q . Si el p – *valor* es menor a la significancia con la que se trabaja el modelo (en este caso del 5%), es decir, si $p < 0.05$, se considera que el modelo es inadecuado. Se obtuvo un valor del 0.674, indicando que el modelo se ajusta de forma satisfactoria a la serie de tiempo, como se muestra a continuación:

| Model | Number of Predictors | Ljung-Box Q(18) | | | Number of Outliers |
|-------------------------------|----------------------|-----------------|----|-------------|--------------------|
| | | Statistics | DF | Sig. | |
| Dh_Sencilla_Cta_Balta-Model_1 | 0 | 12.977 | 16 | .674 | 0 |

En este orden de ideas, se generó el siguiente pronóstico para el primer semestre del año 2012, comprendido entre los meses de Enero y Junio.

| | Demanda real | Pronóstico anterior | Diferencia Absoluta | Nuevo pronóstico | Diferencia Absoluta |
|-------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Enero | 1171 | 710 | 461 | 1319,91 | 148,91 |
| Febrero | 1225 | 744 | 481 | 1366,27 | 141,27 |
| Marzo | 1685 | 857 | 828 | 1574,18 | 110,82 |
| Abril | 1051 | 1135 | 84 | 1356,02 | 305,02 |
| Mayo | 1556 | 1119 | 437 | 1576,34 | 20,34 |
| Junio | 1542 | 1166 | 376 | 1599,89 | 57,89 |
| Cuadro resultados | | MAD | 444,5 | MAD | 130,70833 |
| | | Red, MAD | 313,7916667 | % Red, MAD | 70,59% |

Tabla 11. Análisis para referencia **414130001**

Se observa una disminución en el indicador de la desviación media absoluta de 317 unidades para el último mes. Esto significa una reducción en el MAD de aproximadamente el 70.59%, la cual demuestra la efectividad de dicho modelo.

5.2. Análisis de la información

En la **Tabla 12** se recopiló toda la información acerca de la diferencia entre el modelo actual de pronósticos y el modelo basado en la metodología ARIMA. El análisis de los datos está basado en 3 medidas de errores de los pronósticos.

| REFERENCIA | Modelo anterior | | | Modelo ARIMA | | | Reducciones | | | | Mejora |
|------------------|-----------------|-------|-------|--------------|-------|-------|-------------|--------|-------|----------|--------|
| | MAD | RSFE | TS | MAD | RSFE | TS | MAD | % MAD | RSFE | % RSFE | TS |
| 324603331 | 1387 | 7262 | 5,24 | 960 | 2231 | 2,33 | 427 | 30,81% | 5031 | 69,28% | Si |
| 19190001 | 20393 | 45833 | 2,25 | 17974 | 20125 | 1,12 | 2419 | 11,86% | 25708 | 56,09% | Si |
| 591360001 | 1738 | -1448 | -0,83 | 1594 | -4101 | -2,57 | 144 | 8,30% | 2653 | -183,22% | No |
| 415165551 | 1305 | -4455 | -3,41 | 1094 | -1839 | -1,68 | 211 | 16,20% | -2616 | 58,72% | Si |
| 545050001 | 984 | 4241 | 4,31 | 565 | -2655 | -4,70 | 419 | 42,56% | 6896 | 37,40% | No |
| 324403331 | 270 | 1383 | 5,13 | 180 | -109 | -0,60 | 90 | 33,21% | 1492 | 92,15% | Si |
| 380183331 | 1266 | 3809 | 3,01 | 963 | 2188 | 2,27 | 303 | 23,91% | 1621 | 42,56% | Si |
| 734010001 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 544108881 | 756 | -639 | -0,85 | 507 | 1334 | 2,63 | 249 | 32,92% | -1973 | -108,70% | No |
| 414110001 | 476 | 2165 | 4,55 | 208 | -761 | -3,66 | 268 | 56,32% | 2926 | 64,86% | Si |
| 414175551 | 503 | -1292 | -2,57 | 513 | -1410 | -2,75 | -9 | -1,83% | 118 | -9,12% | No |
| 414120001 | 292 | 1749 | 6,00 | 29 | 150 | -5,15 | 262 | 89,99% | 1599 | 91,41% | Si |
| 591450001 | 703 | -1643 | -2,34 | 700 | 2171 | 3,10 | 3 | 0,48% | -3814 | -32,15% | No |
| 734160001 | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A |
| 544300001 | 1243 | 7275 | 5,85 | 401 | 1547 | 3,86 | 842 | 67,73% | 5728 | 78,74% | Si |

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|---------|-------|----------|----|
| 324503331 | 173 | 305 | 1,76 | 113 | -9 | -0,08 | 60 | 34,62% | 314 | 96,94% | Si |
| 794190001 | 108 | 513 | 4,76 | 52 | 264 | 5,05 | 56 | 51,55% | 249 | 48,56% | No |
| NH4010001 | 69 | 309 | 4,47 | 27 | -9 | -0,34 | 42 | 61,39% | 318 | 97,05% | Si |
| 584108881 | 296 | 1773 | 6,00 | 313 | 758 | 2,42 | -17 | -5,86% | 1015 | 57,25% | Si |
| 380140001 | 12649 | 75895 | 6,00 | 2507 | -6893 | -2,75 | 10143 | 80,18% | 82788 | 90,92% | Si |
| 325643331 | 182 | 271 | 1,49 | 134 | -359 | -2,68 | 48 | 26,16% | 630 | -32,57% | No |
| 414130001 | 445 | 2499 | 5,62 | 131 | -563 | -4,30 | 314 | 70,59% | 3062 | 77,49% | Si |
| RE4000001 | 64 | 138 | 2,17 | 60 | 208 | 3,48 | 4 | 6,28% | -70 | -50,62% | No |
| 325653331 | 98 | 126 | 1,28 | 85 | 150 | 1,78 | 14 | 13,94% | -24 | -19,22% | No |
| 18043331 | 362 | 1665 | 4,60 | 360 | 1252 | 3,48 | 2 | 0,66% | 413 | 24,82% | Si |
| 585920001 | 1065 | 1553 | 1,46 | 998 | -860 | -0,86 | 67 | 6,34% | 2413 | 44,63% | Si |
| MA4008881 | 143 | 218 | 1,52 | 120 | 411 | 3,42 | 23 | 16,11% | -193 | -88,43% | No |
| 435003331 | 54 | 50 | 0,92 | 17 | 55 | 3,14 | 37 | 67,84% | -5 | -9,82% | No |
| 724208881 | 111 | 314 | 2,82 | 55 | 308 | 5,58 | 56 | 50,36% | 6 | 1,78% | No |
| 724200001 | 61 | 65 | 1,07 | 70 | -137 | -1,96 | -9 | -15,36% | 202 | -110,40% | No |
| VA5008881 | 116 | -54 | -0,46 | 92 | -169 | -1,83 | 24 | 20,73% | 115 | -212,15% | No |
| 594108881 | 272 | -89 | -0,33 | 238 | 7 | 0,03 | 33 | 12,21% | -96 | 92,28% | Si |
| 415000001 | 189 | 552 | 2,92 | 111 | -371 | -3,34 | 78 | 41,35% | 923 | 32,84% | No |
| 935125551 | 1465 | 2053 | 1,40 | 1271 | 2278 | 1,79 | 194 | 13,23% | -225 | -10,96% | No |
| 794200001 | 136 | 179 | 1,32 | 127 | 287 | 2,26 | 9 | 6,40% | -108 | -60,34% | No |

Tabla 12. Impacto del modelo de generación de pronósticos ARIMA para todas las referencias

5.2.1. MAD

En la **Tabla 12** se puede apreciar que hubo una disminución del MAD aproximadamente en el 91% de las líneas analizadas, en donde la mayor reducción fue del 89,99%, y la menor fue del 0,4866%. A partir del cálculo de la media geométrica, se determinó que hubo reducciones en promedio de 20 puntos porcentuales en el MAD. En cuanto a las unidades, se observó una reducción en promedio de 510 unidades por referencia, en donde la mayor reducción fue de 10143 y la menor fue de 2. Esto demuestra el buen ajuste que puede llegar a tener un modelo ARIMA para diferentes referencias dentro de una empresa. Por otro lado, hubo 2 referencias en las cuales hubo un incremento en el MAD. Para estos casos se deben revisar los modelos teóricos que apliquen a cada una de las referencias y volver a generar los pronósticos.

5.2.2. RSFE

En la **Tabla 12** se puede apreciar que hubo una disminución del RSFE en aproximadamente el 61% de las líneas analizadas, en donde la mayor reducción fue del 97,05%, y la menor fue del 1,78%. Para este análisis se tomaron en cuenta reducciones tanto de valores positivos como de valores negativos. A partir del cálculo de la media geométrica, se determinó que hubo reducciones en promedio de 51 puntos porcentuales en el RSFE. En cuanto a las unidades, se observó una reducción en promedio de 4154 unidades.

5.2.3. TS

Teniendo en cuenta el análisis realizado anteriormente para las reducciones en el MAD y en el RSFE, y partiendo del hecho que la señal de rastreo (TS por sus siglas en inglés) se calcula con base en estas dos mediciones, se debe hacer un análisis diferente. Como se veía en la sección de Marco Teórico del Capítulo II, la TS indica el número de desviaciones MAD que presenta el pronóstico con respecto a la media, y tiene 2 interpretaciones. Si la TS es positiva, significa que el modelo está pronosticando valores por debajo de la demanda real, mientras que si es negativa significa que el modelo de está pronosticando valores por encima de la demanda real. En este orden de ideas, se observó que el 48,5% de las referencias analizadas obtuvo una mejora en la TS. Por otro lado, con esta metodología se garantiza que aproximadamente el 85% de las referencias se encuentran por dentro de los límites teóricos de la TS ($\pm 4 MAD$), mientras que con el anterior modelo solo se garantizaba el 63,6%.

Más adelante en el Capítulo V, Evaluación Financiera, se realiza un análisis a profundidad del impacto que tuvo el modelo en las referencias seleccionadas y el impacto potencial que podría tener si el modelo se implementara para todas las referencias que maneja la empresa, evaluando los resultados a partir del ahorro de las materias primas que componen cada producto y el costo de realizar pedidos adicionales de materias primas.

5.3. Desarrollo del modelo

Teniendo en cuenta los requerimientos de la empresa en cuanto a la condición de que las herramientas desarrolladas fueran compatibles con los formatos de archivo que se manejan actualmente, se decidió realizar el programa en Excel. Se trató de que el modelo propuesto, dado su alto componente teórico, fuera de fácil acceso y entendimiento para todo el mundo, y de fácil implementación dentro de la operación de la empresa. Por otro lado, también se buscó que la herramienta fuera lo más didáctica e interactiva posible, logrando que personas sin conocimiento estadístico pudieran hacer uso de la misma sin problema.

Remitiéndonos a la **Figura 6** del Marco Teórico, se puede observar la estructura y el diagrama de proceso que presenta la metodología ARIMA, y cuáles son los pasos a desarrollar. A continuación se explican los pasos que se deben seguir para generar un modelo ARIMA a satisfacción, y como estos fueron desarrollados con base en los requerimientos de la empresa Grifería y Complementos Corona.

Paso 1. Análisis de gráficas de serie de tiempo y autocorrelaciones simples y parciales

En la herramienta propuesta se planteó una Macro que se activa desde una lista desplegable y grafica la serie de tiempo de la referencia escogida, junto con las autocorrelaciones simples y parciales de la referencia seleccionada (ver **Anexo 3**).

Paso 2. Identificar modelo

Dependiendo del análisis de las gráficas realizado por la persona, se debe escoger entre una serie de modelos y seleccionar el que más se acerca a los patrones definidos por la metodología (Ver Capítulo I, Marco Teórico). Con práctica y capacitaciones en el tema, la persona será cada vez más hábil en la identificación del modelo⁶⁶.

Paso 3. Diagnóstico del modelo

Se basa en el análisis del estadístico de Ljung Box Q . El análisis recurre a una prueba Chi cuadrada basada en la estadística de Ljung-Box Q , en donde se evalúa el p – *valor* asociado con la estadística Q . Si el p – *valor* es menor a la significancia con la que se trabaja el modelo (en este caso del 5%), es decir, si $p < 0.05$, se considera que el modelo es inadecuado. Se utilizó la función DISTR.CHI de Excel para comparar el valor del estadístico de prueba Ljung Box Q , y obtener la significancia del modelo.

Paso 4. Generación de pronósticos con el modelo

Una vez se determina la efectividad del modelo, se procede a generar el pronóstico con base en los parámetros estimados para la referencia a la cual se le estaba realizando el análisis.

Cada uno de los pasos es llevado a cabo por el programa en conjunto con la persona. No solo basta con proponer una herramienta que sirva para realizar la generación de los pronósticos, sino que se debe velar para que esta se integre con las demás herramientas y procesos que se llevan a cabo dentro de la empresa. De esta forma se garantiza un mejor uso de la herramienta, a partir del razonamiento de la persona y de su integración con la herramienta.

6. Propuesta de políticas de uso

Para garantizar el uso eficiente de esta metodología, no solamente se debe limitar a la propuesta de la herramienta, sino que se debe velar por que todo el trabajo se encuentre alineado con las metodologías, recursos y necesidades de la empresa. Por esta razón se plantearon una serie de políticas para el uso adecuado del modelo, que van desde las políticas de los errores de los pronósticos, hasta la capacitación a las personas encargadas de realizar los pronósticos, enmarcadas dentro del ciclo colaborativo.

6.1. Ciclo colaborativo

Una vez realizado el análisis de las referencias seleccionadas, se debe buscar la manera de integrar la propuesta de mejora dentro de la empresa. Como se mencionó en la sección “planteamiento del problema” del Capítulo II, anteriormente la empresa usaba un software para realizar la generación de los pronósticos (*ForecastPro*®), pero debido a que las entradas y salidas del programa no eran compatibles con los formatos que se manejaban, la herramienta se dejó de

⁶⁶HANKE, Jhon E. y WICHERN, Dean W. Op. cit., p 390.

usar. Esto quiere decir que se debe buscar una herramienta que sea compatible con las herramientas que se utilizan actualmente en la empresa, y debe facilitar la comunicación entre el área de administración de la demanda y el área comercial.

Para esto se desarrolló un programa en Excel con el que se puede realizar la generación de los pronósticos de forma interactiva con la persona, atacando dos frentes: hacer que la persona se apropie de la herramienta mediante una metodología de generación de pronósticos fácil a simple vista, pero robusta teóricamente, y permitir que los trabajadores del área comercial tengan una aproximación a lo que es el proceso de generación de los pronósticos de una forma gráfica y sencilla. Esto garantiza que los comerciales tengan acceso a datos históricos reales de demanda y que puedan hacer mejor sus ajustes.

Teniendo en cuenta los diagramas de proceso mostrados en la sección “antecedentes” de este mismo capítulo, la generación de ajustes a los valores pronosticados se hace vía correo electrónico, en donde el área de administración de la demanda envía su archivo de pronósticos generados al área comercial, para que allí diferentes comerciales lo revisen y, según las líneas por las que son responsables, realicen los ajustes correspondientes para el siguiente mes. Una vez las personas revisan los pronósticos y dan sus juicios, cada uno envía un archivo con las familias de productos a modificar, junto con la respectiva justificación. Estos archivos son consolidados por el área de administración de la demanda y el archivo resultante es el de los pronósticos ajustados.

La propuesta es sencilla y consiste en eliminar los procesos de envío de información, análisis y consolidación manual en el proceso de consenso entre las dos áreas. Dado que la empresa Grifería y Complementos Corona cuenta con una red interna, la propuesta para mejorar la comunicación entre las dos áreas es la de manejar el mismo archivo en una carpeta compartida que se llame “Pronósticos”, y que solo tengan acceso el área de administración de la demanda y el área comercial. De esta forma todos los actores del proceso de generación de los pronósticos en la empresa tendrán acceso a esta herramienta, en donde de una forma didáctica y sencilla (pero que de fondo tiene un fundamento teórico robusto) se podrán generar pronósticos, realizar análisis de las referencias y modificar el archivo junto con los comentarios respectivos. De esta forma se planea eliminar el proceso de consolidación de la información y resolver el problema del acceso a la información histórica de la demanda.

6.2. Uso del programa

En la **Figura 18** se presenta el diagrama de proceso del uso de la herramienta propuesta para la generación de pronósticos. Esta secuencia se debe seguir mensualmente, cada vez que se vayan a realizar los pronósticos del siguiente mes.

La base de la hoja “Referencias seleccionadas” debe ser actualizada mensualmente con los datos del mes inmediatamente anterior para poder tenerlos en cuenta y garantizar el ajuste del modelo.

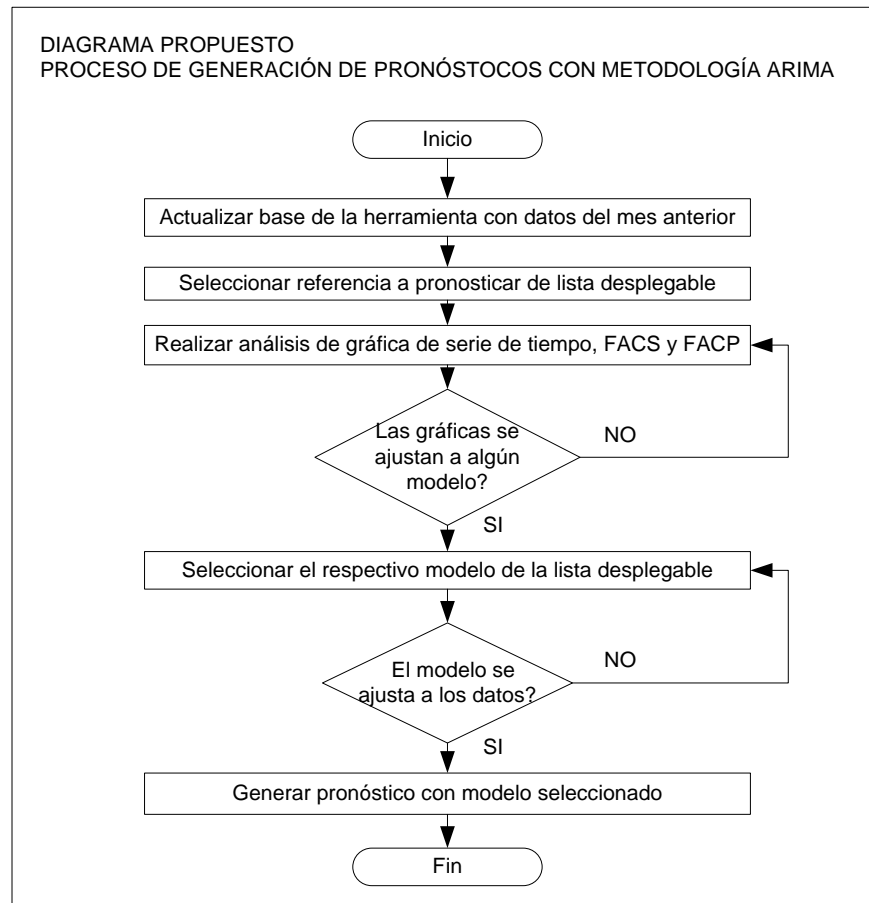


Figura 19. Diagrama propuesto para la generación de pronósticos con metodología ARIMA

En el **Anexo 3** se encuentra el tutorial para el uso del programa desarrollado. Allí se explica de una forma didáctica cómo se debe realizar el proceso de generación de los pronósticos paso a paso. Se parte de la selección de la referencia a pronosticar, pasando por el análisis de las gráficas y determinación del modelo, hasta la evaluación del mismo y la generación del pronóstico del siguiente periodo.

6.3. Errores en los pronósticos

Teniendo en cuenta el uso del programa y los requerimientos de la empresa para tener trazabilidad y control sobre los errores de los pronósticos, se plantea tener los siguientes indicadores de error para poder identificar las tendencias del modelo (si está pronosticando por encima o por debajo del valor real) y saber cuándo cambiarlo:

- **MAD:** La medida de error por excelencia, sirve para darse cuenta periodo a periodo, en promedio, en cuantas unidades se encuentra desfasado el pronóstico con respecto a los valores reales de demanda.

$$1 \text{ MAD} = 0.8 \sigma \quad 1 \sigma = 1.25 \text{ MAD}$$

Teniendo en cuenta esta información, se desea trabajar sobre una calidad 3σ , lo que equivale a 3.75 MAD. Para realizar el cálculo de este indicador se debe recurrir a la señal de rastreo.

- **TS:** La señal de rastreo indica si el pronóstico de la demanda está siguiendo los cambios de la misma. La TS indica el número de desviaciones medias absolutas (MAD's) que el valor pronosticado se encuentra por encima o por debajo del valor real de la demanda.

En este orden de ideas, la TS se debe encontrar dentro de un rango de $\pm 3.75 MAD$, para que se trabaje con una calidad 3σ . En términos prácticos, y para efectos de este trabajo, se va a trabajar con un rango de $\pm 4 MAD$, para tenerlo en cuenta dentro de las políticas de revisión y cambio de los modelos de pronósticos.

6.4. Políticas de cambio de modelos

Teniendo en cuenta los indicadores de medición de la eficiencia de los modelos, o en este caso los errores, se determinan políticas de cambio o revisión de los modelos de acuerdo con los siguientes lineamientos:

Se debe revisar el modelo de pronósticos cuando se presenten las siguientes situaciones:

- Cuando la **TS** incremente por 3 o más meses consecutivos. Esto indica que el modelo está pronosticando valores cada vez más por debajo del valor real de la demanda. Esto puede corresponder a un incremento temporal en la demanda, que se necesita revisar con el área comercial, o a errores en la metodología de generación de los pronósticos.
- Cuando la **TS** se reduzca por 3 o más meses consecutivos. Esto indica que el modelo está pronosticando valores cada vez más por encima del valor real de la demanda. Esto puede corresponder a una reducción temporal en la demanda, que se necesita revisar con el área comercial, o a errores en la metodología de generación de los pronósticos.
- Cuando la **TS** se salga de los límites en un periodo, es decir, que esté por encima de 4 o por debajo de -4 MAD's.

Se debe cambiar el modelo de pronósticos cuando este se haya revisado, pero se presente alguna de las siguientes situaciones:

- Cuando la **TS** incremente por más de 3 meses consecutivos una vez se haya revisado el pronóstico y se haya realizado el respectivo ajuste.
- Cuando la **TS** decrezca por más de 3 meses consecutivos una vez se haya revisado el pronóstico y se haya realizado el respectivo ajuste.
- Cuando la **TS** se salga de los límites por 2 o más meses consecutivos una vez se haya revisado el pronóstico y se haya realizado el respectivo ajuste.

6.5. Capacitación

Según la teoría de la Dirección por Implicación (DPI), que trata la manera de implementar cambios estratégicos dentro de las organizaciones con base en el capital humano⁶⁷, las empresas deben resolver su paradoja humano-técnica a partir de metodologías inclusivas en las cuales se potencie el cambio cultural y organizacional controlando el riesgo asociado al mismo. Esto solamente se logra con propuestas de mejora basadas en dimensiones técnicas (entendidas como una serie de conocimientos apoyados en recursos tecnológicos disponibles), en donde las personas cuenten con un marco teórico conceptual que les permita generar aprendizaje sobre la tarea que están desarrollando⁶⁸.

Se deben tener en cuenta capacitaciones para las personas involucradas en el proceso de generación de pronósticos, en donde se les explique el fundamento teórico del modelo y cómo este es capaz de producir pronósticos más ajustados a la realidad. Para garantizar que las personas cuenten con un marco conceptual adecuado, y que la herramienta no vaya a ser una “Caja Negra”, se propusieron capacitaciones en el tema de Estadística Aplicada, por medio del diplomado que dicta el departamento de Educación Continua de la Pontificia Universidad Javeriana. Su costo se encuentra presupuestado en el Capítulo V de Evaluación financiera.

Por otro lado, teniendo en cuenta una de las teorías del trabajo en equipo presentada por Cecilia Valdez, se debe garantizar el equilibrio de dos factores fundamentales para garantizar que, con una nueva herramienta, se van a generar buenos equipo de trabajo: Enfoque hacia el logro, y cohesión y confianza entre el grupo⁶⁹. En este orden de ideas, para garantizar el éxito de la implementación de la propuesta, las personas deben conocer el problema y darse cuenta del impacto que este está generando dentro de la organización. Se propone realizar una socialización de este Trabajo de Grado con el área de administración de la demanda y al área comercial. De esta forma se deja sentado que la herramienta generada puede ser una ayuda para generar disminución en los errores de los pronósticos y la generación de relaciones sinérgicas entre las dos áreas, garantizando mejores resultados tanto en el área comercial como en el área e administración de la demanda, y por ende en toda la empresa.

Con esta propuesta se garantiza que el empleado va a conocer el problema, va a ver el impacto que este está generando dentro de la empresa y va a ver como las capacitaciones y la herramienta desarrollada van a ayudar a conseguir el logro propuesto: la disminución de los errores de los pronósticos. De esta forma se fija un norte claro en la persona, y se crea la visión de necesidad de cambio para la mejora, garantizando el éxito de la herramienta implementada⁷⁰.

⁶⁷ LOPEZ CABARCOS, Ma. Ángeles y GRANDIO DOPICO, Antonio. Capital Humano como fuente de ventajas competitivas. España: Netbiblo, 2005. P 75.

⁶⁸ Ibid p 82.

⁶⁹ VALDEZ, Cecilia. Trabajo en equipo. ¿Cuál es la clave para lograr equipos funcionales? Folletos gerenciales.

⁷⁰ LOPEZ CABARCOS, Ma. Ángeles y GRANDIO DOPICO, Antonio. Op. Cit. p 85.

CAPÍTULO IV. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

1. Antecedentes

La programación de la producción es el último paso de la planeación de la producción, y se da a nivel operativo. Teniendo en cuenta que la empresa trabaja bajo un modelo de producción sobre demanda, contar con una herramienta que facilite la programación de la producción y garantice el uso óptimo de los recursos es fundamental para poder satisfacer las necesidades de los clientes y garantizar un nivel de facturación estable. Como se veía en la Sección 3 del Capítulo II, Planteamiento del problema, el proceso de programación de la producción en la empresa no se está llevando a cabo de forma óptima. Al no utilizar de forma eficiente los recursos tecnológicos disponibles, se vio una gran oportunidad de mejora en este proceso.

En la **Figura 20** (Pg. 63) se puede apreciar el diagrama del proceso actual de la programación de la producción en la empresa Grifería y Complementos Corona. Se observa el momento crítico cuando el jefe de cada mini-fábrica descarga las ordenes de fabricación y las organiza de forma manual para determinar el orden de la producción en cada una de las líneas de ensamble, haciendo evidente la falta de una herramienta tecnológica que soporte esta gestión.

El diagrama tiene en cuenta los procesos desde la generación de los pedidos por parte de los clientes hasta la asignación de dichos pedidos a cada una de las líneas de ensamble. En el proceso de programación de la producción intervienen 3 actores, que son los clientes, el sistema de información BPCS (Business Planning and Control System) y los jefes de cada una de las mini-fábricas. Se observa que una vez los clientes hacen sus pedidos, estos son validados por el sistema de información BPCS. Una vez validados, estos son clasificados según la mini-fábrica y son dejados a disposición de cada uno de los jefes.

A partir del proceso “Descarga de órdenes de fabricación desde el sistema”, en el cual el sistema ha clasificado previamente las órdenes de fabricación según su mini-fábrica, se dejan de utilizar herramientas que permiten el soporte y análisis de las órdenes que se van a ensamblar. Es así como se evidencia un gran potencial de mejora en cuanto a la utilización de modelos cuantitativos para realizar la programación de la producción.

Debido a que la empresa no cuenta con una herramienta robusta que permita realizar la programación de la producción, el proceso de análisis y priorización de las órdenes de fabricación se lleva a cabo con base en el criterio personal y la experiencia de cada uno de los jefes de las mini-fábricas. Esto ocasiona que la programación de la producción cuente con un horizonte de tiempo corto, el cual no permite generar ningún tipo de planeación táctica ni capacidad de respuesta ante diferentes cambios y eventualidades. Adicionalmente, no se está teniendo en cuenta la prioridad que tiene cada cliente dentro de la empresa.

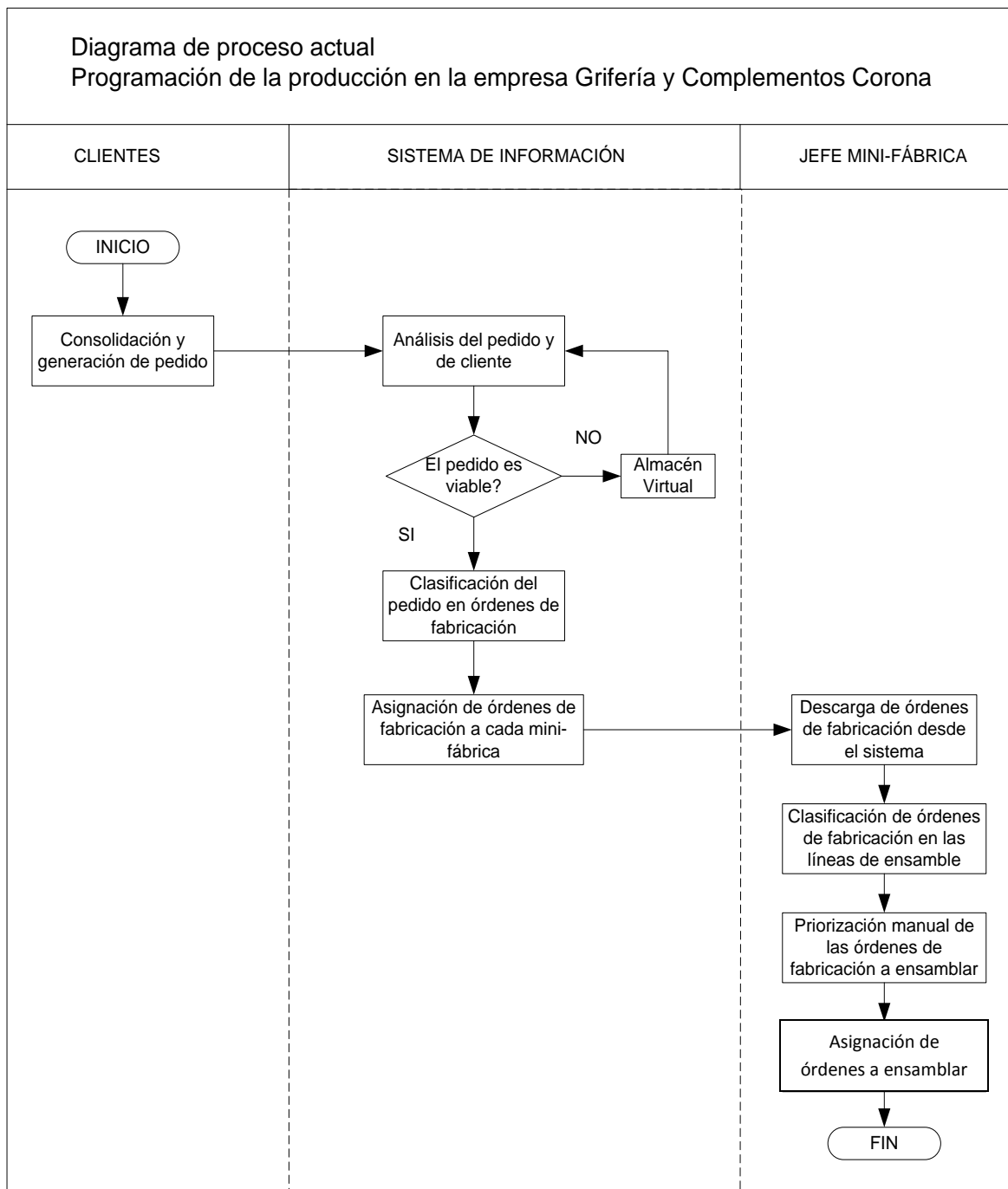


Figura 20. Proceso actual de programación de la producción en Grifería y Complementos Corona

Los modelos de optimización para la programación de la producción permiten generar un horizonte de tiempo mayor en la planeación, logrando ampliar la visión y permitiendo tener una mayor capacidad de reacción ante los diferentes eventos que se dan a diario. Por otro lado, los modelos de optimización para la programación de la producción cuentan con varios criterios de priorización que se pueden ajustar a los requerimientos de la empresa, teniendo en cuenta las

restricciones de recursos asociadas a la operación de la misma. En este orden de ideas, se necesita una herramienta que programe las diferentes órdenes de fabricación a ensamblar en cada una de las líneas, asignándoles un espacio en el tiempo, para que al final se garantice el uso eficiente de los recursos.

2. Priorización

Teniendo en cuenta la cantidad de mini-fábricas que tiene la empresa y la cantidad de referencias que maneja, se decidió realizar un análisis de Pareto para determinar cuál es la mini-fábrica más crítica en el tema de la programación de la producción. Teniendo en cuenta el criterio de facturación pendiente desde los meses de Junio hasta Agosto de 2012, se realizó el siguiente análisis:

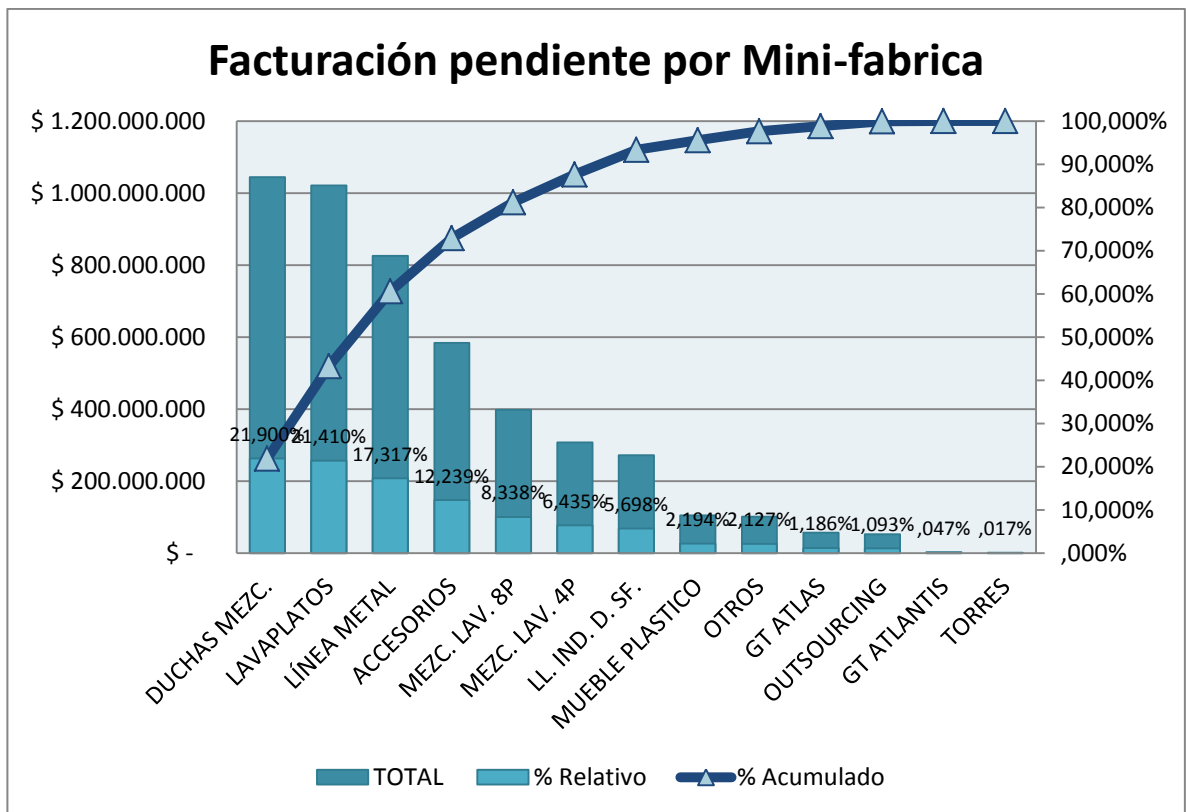


Figura 21. Diagrama de Pareto de la facturación pendiente por mini-fábrica

Como se puede observar en la **Figura 21**, la mini-fábrica de Duchas Mezcladoras genera casi el 22% del valor pendiente de facturación en la empresa, mientras que la mini-fábrica de Lavaplatos genera el 21% de este valor. Para determinar cuál de las dos mini-fábricas es la más relevante en este aspecto, se recurrió al criterio de la facturación total en lo que va del 2012, que se observa en la **Figura 22**.

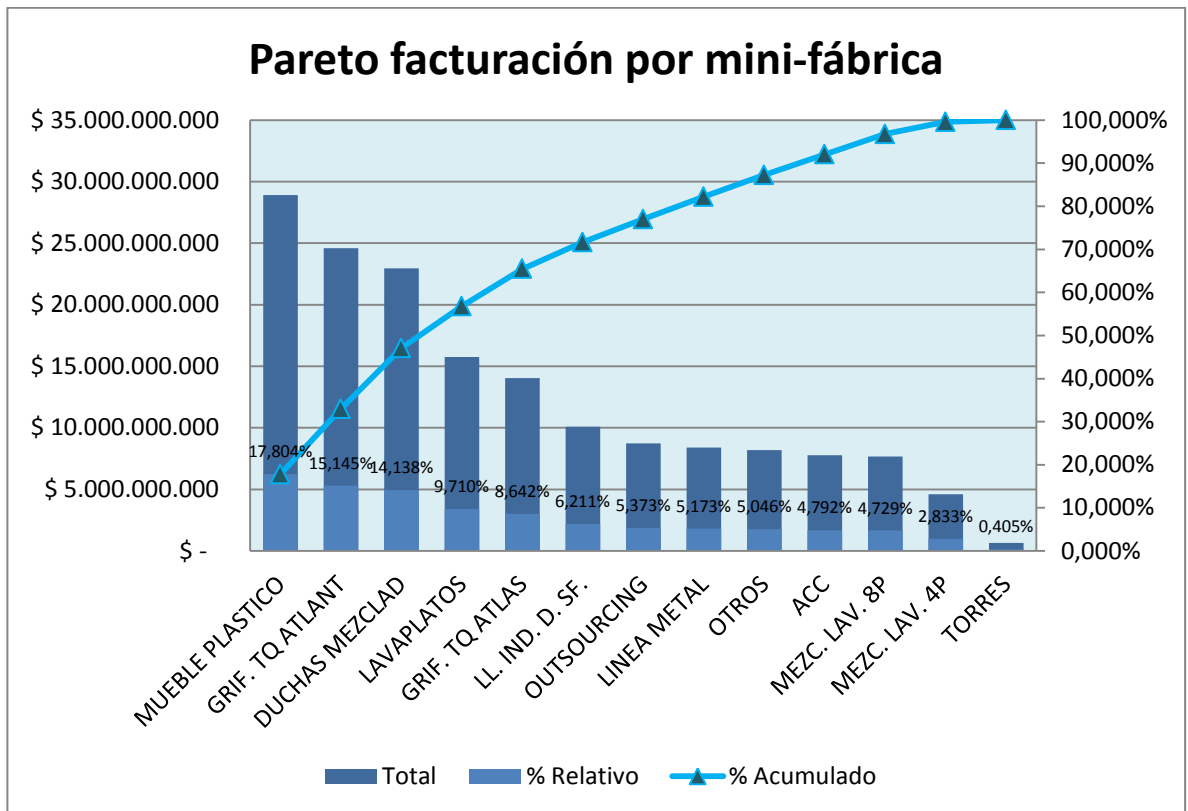


Figura 22. Diagrama de Pareto de la facturación total por mini-fábrica

De acuerdo con el segundo criterio, se observa que la mini-fábrica de Duchas Mezcladoras presenta una facturación mayor que la mini-fábrica de Lavaplatos, por lo que se decidió realizar el análisis sobre la misma. Teniendo en cuenta que ésta es una de las mini-fábricas que más referencias maneja (ver **Tabla 3, pg. 32**), si se garantiza un buen uso de los recursos dentro de la misma gracias a una mejor programación de la producción, se genera un impacto mayor en cuanto a la facturación y la satisfacción de los clientes.

La mini-fábrica de Duchas cuenta con 14 líneas de ensamble, razón por la cual se decidió realizar un análisis de Pareto para determinar la más representativa de todas. El criterio usado fue el número de unidades ensambladas desde Enero hasta Agosto de 2012, como se muestra en la **Figura 23**.

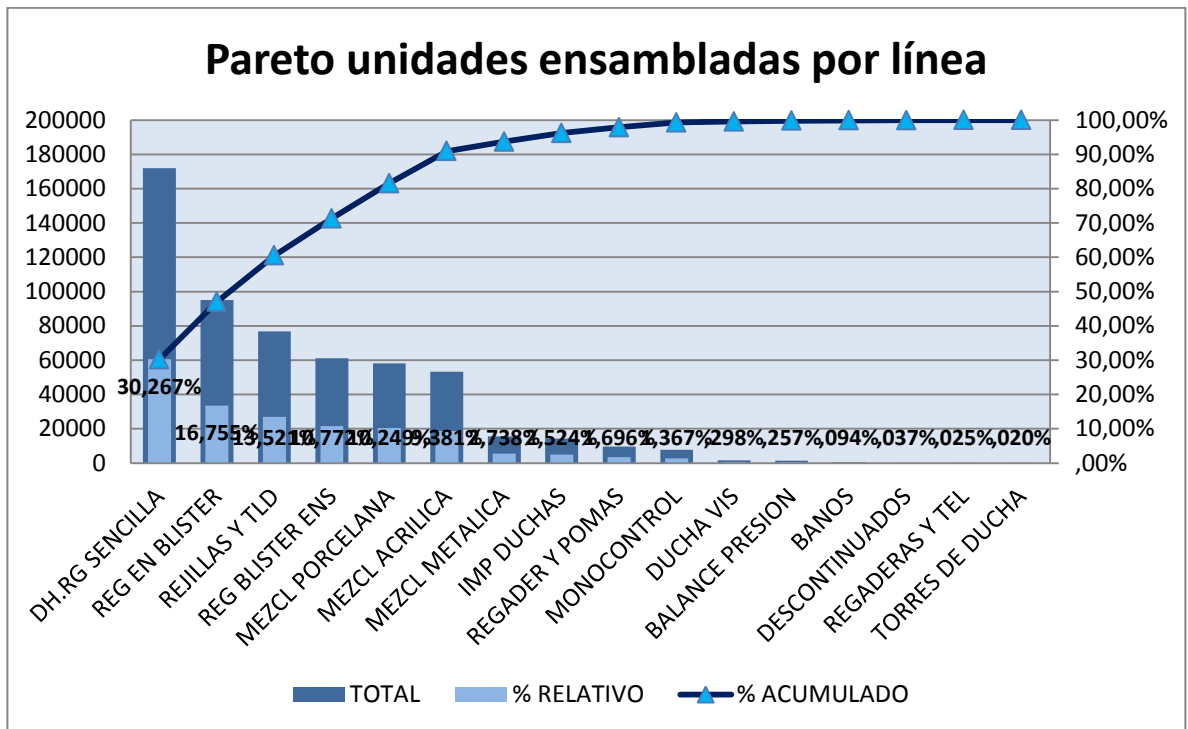


Figura 23. Diagrama de Pareto de las unidades ensambladas por línea de mini-fábrica de Duchas

En la figura se observa que la línea de Duchas y Regaderas sencillas ensambló aproximadamente el 30% de las unidades de la mini-fábrica de Duchas desde Enero hasta Agosto de 2012, por lo que la el análisis se realizará con base en esta línea.

3. Modelo propuesto

De acuerdo con el Marco Teórico presentado en el Capítulo II, en la actualidad existen varios modelos de optimización que pueden aplicarse a la programación de la producción. Estos modelos consisten en la asignación de recursos a diferentes tareas a través del tiempo, en donde las tareas corresponden a trabajos que tienen una fecha de entrada y salida determinada. Para poder realizar la programación de estos trabajos se deben tener en cuenta diferentes parámetros como los tiempos de ejecución, las prioridades de las tareas y las restricciones del sistema, que son básicamente, la capacidad instalada de cada recurso y su disponibilidad para realizar algún trabajo.

Debido a que las líneas de ensamble que maneja la empresa Grifería y Complementos Corona trabajan bajo un escenario mutuamente excluyente, es decir, cada línea cuenta con unas referencias determinadas a ensamblar, el modelo de programación de la producción se puede simplificar a varios modelos de programación en una sola máquina. Uno para cada una de las 16 líneas que se manejan en la mini-fábrica de Duchas.

Como se veía en el Capítulo II, el problema de la empresa no es de demanda, sino de capacidad. El hecho de que la empresa tenga facturación pendiente todos los meses indica que se están entregando pedidos tarde. En este orden de ideas, se debe atacar la entrega de pedidos tarde

teniendo en cuenta la facturación de la línea. Por esta razón se propuso el modelo de “Minimización de la tardanza total ponderada en una máquina” como solución al problema de la empresa Grifería y Complementos Corona. Una vez se corre el modelo y se obtiene la secuencia óptima, esta debe ser asignada a las líneas de ensamble teniendo en cuenta los turnos de trabajo programados y un horizonte de tiempo de una semana. De esta forma se garantiza un mejor horizonte de planeación.

4. Análisis del modelo

El modelo que se va a desarrollar es conocido como el problema de secuenciación en una máquina para la tardanza total ponderada, en donde los objetivos son garantizar el uso eficiente de los recursos (línea de ensamble) por medio de la priorización de las órdenes de fabricación con base en el tipo de cliente y el valor de la orden, y la minimización de la tardanza total ponderada. Teniendo en cuenta que la programación de la producción en una sola máquina se conoce como secuenciación, e independientemente de la secuencia que se siga la facturación total va a ser la misma, se deben definir indicadores de facturación por unidad de tiempo para demostrar la eficiencia del modelo.

Una vez se tiene claro el modelo con el cual se va a trabajar, se debe seguir la metodología para construir un modelo de programación de la producción.

4.1. Desarrollo de modelo

Para realizar el desarrollo formal del modelo se deben determinar los siguientes componentes:

Conjuntos

$I = \text{Órdenes de fabricación (Trabajos)}$

Parámetros

$T_i = \text{Tiempo de ensamble de la orden } i$

$D_i = \text{Fecha de entrega de la orden } i$

$W_i = \text{Prioridad de la orden } i$

Estos parámetros son dinámicos debido a que cambian dependiendo de la orden de fabricación. Los parámetros para este modelo son calculados de la siguiente forma:

$P_i = \text{Tiempo de ensamble de la referencia de la orden } i * \text{No. de unidades a ensamblar de la referencia } i$

$D_i = \text{Fecha de compromiso de entrega de la orden } i$

$W_i = (\text{Prioridad asignada al canal que realizó el pedido de la orden } i * \text{Valor de la orden } i) / 100000$

En donde:

*Valor de la orden i = Precio referencia de la orden i * No. de unidades a ensamblar de la referencia i*

El parámetro W_i se encuentra dividido por 100000 debido a que se decidió trabajar con valores de ponderación pequeños, haciendo más evidente y claro el análisis realizado.

Variables

$X_i =$ Posición en donde se va a ensamblar la orden i

En donde el conjunto solución X_i forma una secuencia de ensamble quasi-óptima π

Restricciones

$$\begin{aligned} C_i(\pi) &\geq \sum_i^n P_i \\ T_i(\pi) &\geq C_i(\pi) - D_i, \quad \forall i \in I \\ X_i &\in Z, \quad \forall i \in I \end{aligned}$$

Función objetivo

$$\text{Minimizar } Z = \sum_i^n W_i * T_i(\pi)$$

4.2. Recolección de datos

Como se observó en la sección de Marco Teórico del Capítulo II, un modelo de optimización para resolver el problema de minimización de la tardanza total ponderada necesita de variables, parámetros y restricciones. Como se apreció en la sección anterior, ya se definieron claramente los conjuntos y los parámetros necesarios para poder realizar el montaje del modelo, así como también la variable principal, las restricciones del modelo y la función objetivo a minimizar.

A partir de los tiempos estándar de ensamble de cada referencia y su respectivo precio, se construyó la base que sirve para realizar el cálculo de la secuencia óptima de ensamble de las órdenes, y que se presenta en la hoja de cálculo "Base" de la Herramienta 2 "Programador de la producción" (CD).

En esta base la única modificación que se le realizó a los datos fue la conversión del tiempo de ensamble de cada referencia de segundos a días, para contar con las mismas unidades del parámetro de las fechas de entrega.

4.3. Método de solución

Como se observó en la sección de Marco Teórico del Capítulo II, el problema de secuenciación en una máquina para la tardanza total ponderada es calificado como NP-Duro, por lo que resolverlo

por medio de métodos exactos es ineficiente desde el punto de vista de eficiencia operacional. Por esta razón se sugiere utilizar heurísticas o meta heurísticas para la resolución de este problema.

Teniendo en cuenta que un método de solución heurístico o metaheurístico no siempre alcanza el óptimo global de la región factible, se debe generar un criterio de mejora para las soluciones que se van creando en cada iteración del modelo.

El método de solución escogido fue la metaheurística GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*), que debido a los excelentes resultados mostrados en la **Tabla 2** (Pg 27) del marco teórico, y su alta eficiencia operacional y facilidad de implementación⁷¹ es una buena solución para que empresas como Grifería y Complementos Corona tengan acceso a modelos de programación de la producción.

El criterio para generar una mejor secuencia de producción en el problema de secuenciación en una máquina para la tardanza total ponderada esta dado por la siguiente condición:

Si existen 2 trabajos, j y k , y se cumple que $d_j \leq d_k$, $p_j \leq p_k$ y $w_j \geq w_k$, entonces existe una secuencia mejor en donde el trabajo j va antes del trabajo k .⁷²

A continuación se presentan las 3 fases que se utilizaron en la construcción del modelo para la empresa Grifería y Complementos Corona.

FASE 1. Creación de una solución inicial

Como se observaba en la sección de Marco Teórico del Capítulo II, se debe construir la solución inicial del modelo a partir de la evaluación de una función incremental. La función incremental escogida se tomó con base en el estudio realizado por Caballero y Alvarado⁷³. La función es la siguiente:

$$f_j = w_j * (t + p_j - d_j)$$

En donde

f_j = Valor de la formula incremental

w_j = Peso ponderado del trabajo j

t = Tiempo actual del sistema (tiempo total de procesamiento)

p_j = Tiempo de ensamble de la orden j

d_j = Fecha de entrega de la orden j

⁷¹CABALLERO V., Juan Pablo y ALVARADO, V. Jorge Andrés. Op. Cit p 3.

⁷² PINEDO, Michael L. Op. Cit. p 57.

⁷³ *Ibíd.*, p 8.

Con base en este criterio se debe construir la RCL (Restricted Candidate List). Teniendo en cuenta que el objetivo principal del modelo es la programación de todas las órdenes de fabricación en cada una de las líneas de ensamble, se realizó una modificación a la fase de construcción inicial de la solución. La modificación realizada fue no tomar la RCL como un parámetro de probabilidad de cada una de las órdenes de fabricación para entrar a la solución inicial, sino evaluar todas las órdenes de fabricación y organizarlas por este criterio. De esta forma se amplía el alcance de cada iteración, garantizando que no se va a caer en un óptimo local, sino que el modelo va a buscar un óptimo global.

Para la realización de esta fase se programó una Macro en Excel, la cual evalúa la función incremental a partir de cero, y va incluyendo en orden de mayor a menor las órdenes de fabricación, según el siguiente código:

Inicio

Para $i = 1$ hasta RCL

$$FO = 0$$

Para $j = 1$ hasta $RCL - 1$

$$f_j = w_j * (t + p_j - d_j)$$

Si $f_j < f_{j+1}$

$$Posición [i] = j + 1$$

$$FO = f_{j+1}$$

$$j = j + 1$$

Almacenar posición $j + 1$ en $Posición [i]$

Eliminar posición $j + 1$, dado que ya está en la solución.

$$i = i + 1$$

Fin

Esta secuencia inicial es almacenada y sirve de base para comparar diferentes secuencias a las que se llegue por medio de las iteraciones de esta metodología.

FASE 2. POST-OPTIMIZACIÓN

Teniendo en cuenta que el problema de minimización de la tardanza total ponderada en una máquina es un problema NP-Duro, es decir que su eficiencia operacional disminuye cuando se trata de solucionar por métodos exactos, se debe recurrir a un proceso de búsqueda local a partir de iteraciones para poder generar soluciones quasi-óptimas. Teniendo en cuenta la modificación realizada a la metodología GRASP en su fase constructiva, se garantiza una mayor cobertura en la búsqueda de la solución óptima al ampliar la búsqueda local a una búsqueda global.

El criterio para determinar si existe una secuencia mejor esta dado por la siguiente condición:

Si existen 2 trabajos, j y k , y se cumple que $d_j \leq d_k$, $p_j \leq p_k$ y $w_j \geq w_k$, entonces existe una secuencia mejor en donde el trabajo j va antes del trabajo k .⁷⁴

Si el programa encuentra esta situación, éste compara los resultados de la función objetivo con la secuencia actual y la secuencia propuesta, y tiene en cuenta la que minimice el valor de la tardanza total ponderada.

Teniendo en cuenta que se está trabajando sobre todo el conjunto de datos gracias a la modificación del parámetro del RCL, se decidió definir un número máximo de iteraciones a realizar. Para proceder con este análisis se debe escoger previamente el número de iteraciones con las cuales se desea realizar el cálculo de la secuencia. El número de iteraciones se puede escoger en la hoja de “Programación” de la herramienta 2. “Programador de la producción” (Ver **Anexo 4**). Se debe tener en cuenta que a mayor número de iteraciones, mayor es el tiempo de ejecución del programa.

FASE 3. PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Una vez se ha realizado la fase de post-optimización y se tiene una secuencia cerca al óptimo para determinado número de iteraciones, se debe realizar la programación de la producción, en donde se le debe asignar a cada una de las órdenes de fabricación un espacio en el tiempo. Para solucionar este problema se recurrió a un programa que, dependiendo de la secuencia obtenida y del número de turnos con los cuales va a trabajar la línea de ensamble, asigna a las órdenes un día y una hora de ensamble.

El jefe de cada mini-fábrica debe escoger de una lista desplegable el número de turnos que se van a trabajar durante la semana, para así realizar la respectiva asignación de las ordenes a diferentes días y horas, generando un mejor horizonte de planeación de la producción a nivel operacional y garantizando el uso óptimo de los recursos disponibles (ver **Anexo 4**).

⁷⁴ PINEDO, Michael L. Op. Cit. p 57.

4.4. Aplicación y análisis del modelo

El modelo se aplicó de forma satisfactoria a una de las listas que bajó el jefe de la mini-fábrica el día lunes 15 de Octubre de 2012. A partir de la base creada para la mini-fábrica de Duchas Mezcladoras se pudo implementar el modelo de Minimización de la tardanza total ponderada para una máquina, en donde los resultados se muestran a continuación en la **Tabla 13**. La columna que se encuentra subrayada corresponde a la posición en que se va a ensamblar la orden, mientras que las columnas que se encuentran en blanco son las órdenes a ensamblar (Ej. La primera orden que se va a ensamblar es la número 700, y la segunda la 654). Están organizadas por pares de filas.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 700 | 38 | 426 | 75 | 330 | 112 | 373 | 149 | 12 | 186 | 323 | 223 | 423 | 260 | 154 | 297 | 597 | 334 | 650 | 371 | 161 | 408 | 3 | 445 | 262 | 482 | 479 |
| 2 | 654 | 39 | 365 | 76 | 332 | 113 | 428 | 150 | 335 | 187 | 61 | 224 | 248 | 261 | 112 | 298 | 600 | 335 | 553 | 372 | 71 | 409 | 341 | 446 | 118 | 483 | 33 |
| 3 | 653 | 40 | 419 | 77 | 145 | 114 | 628 | 151 | 528 | 188 | 535 | 225 | 359 | 262 | 637 | 299 | 552 | 336 | 72 | 373 | 532 | 410 | 446 | 447 | 583 | 484 | 431 |
| 4 | 698 | 41 | 635 | 78 | 703 | 115 | 14 | 152 | 548 | 189 | 638 | 226 | 49 | 263 | 355 | 300 | 469 | 337 | 549 | 374 | 350 | 411 | 514 | 448 | 555 | 485 | 137 |
| 5 | 705 | 42 | 682 | 79 | 420 | 116 | 15 | 153 | 50 | 190 | 249 | 227 | 571 | 264 | 625 | 301 | 603 | 338 | 344 | 375 | 2 | 412 | 447 | 449 | 298 | 486 | 100 |
| 6 | 697 | 43 | 59 | 80 | 632 | 117 | 208 | 154 | 159 | 191 | 556 | 228 | 572 | 265 | 443 | 302 | 435 | 339 | 678 | 376 | 103 | 413 | 621 | 450 | 647 | 487 | 563 |
| 7 | 701 | 44 | 333 | 81 | 119 | 118 | 232 | 155 | 140 | 192 | 89 | 229 | 573 | 266 | 182 | 303 | 356 | 340 | 45 | 377 | 639 | 414 | 706 | 451 | 139 | 488 | 340 |
| 8 | 695 | 45 | 58 | 82 | 425 | 119 | 321 | 156 | 66 | 193 | 57 | 230 | 574 | 267 | 391 | 304 | 709 | 341 | 601 | 378 | 326 | 415 | 578 | 452 | 495 | 489 | 1 |
| 9 | 694 | 46 | 652 | 83 | 554 | 120 | 608 | 157 | 122 | 194 | 169 | 231 | 605 | 268 | 78 | 305 | 629 | 342 | 513 | 379 | 536 | 416 | 531 | 453 | 177 | 490 | 349 |
| 10 | 699 | 47 | 672 | 84 | 96 | 121 | 524 | 158 | 395 | 195 | 34 | 232 | 275 | 269 | 106 | 306 | 481 | 343 | 516 | 380 | 496 | 417 | 641 | 454 | 18 | 491 | 239 |
| 11 | 683 | 48 | 530 | 85 | 366 | 122 | 525 | 159 | 437 | 196 | 134 | 233 | 315 | 270 | 582 | 307 | 376 | 344 | 184 | 381 | 707 | 418 | 622 | 455 | 505 | 492 | 223 |
| 12 | 690 | 49 | 633 | 86 | 550 | 123 | 526 | 160 | 329 | 197 | 135 | 234 | 320 | 271 | 615 | 308 | 64 | 345 | 378 | 382 | 564 | 419 | 173 | 456 | 414 | 493 | 674 |
| 13 | 693 | 50 | 146 | 87 | 99 | 124 | 527 | 161 | 331 | 198 | 136 | 235 | 538 | 272 | 522 | 309 | 65 | 346 | 575 | 383 | 222 | 420 | 519 | 457 | 598 | 494 | 416 |
| 14 | 692 | 51 | 147 | 88 | 484 | 125 | 75 | 162 | 480 | 199 | 258 | 236 | 219 | 273 | 523 | 310 | 617 | 347 | 577 | 384 | 634 | 421 | 506 | 458 | 609 | 495 | 444 |
| 15 | 696 | 52 | 471 | 89 | 398 | 126 | 62 | 163 | 243 | 200 | 442 | 237 | 630 | 274 | 361 | 311 | 452 | 348 | 179 | 385 | 489 | 422 | 210 | 459 | 251 | 496 | 274 |
| 16 | 704 | 53 | 52 | 90 | 90 | 127 | 673 | 164 | 631 | 201 | 87 | 238 | 226 | 275 | 449 | 312 | 116 | 349 | 616 | 386 | 407 | 423 | 160 | 460 | 658 | 497 | 645 |
| 17 | 708 | 54 | 372 | 91 | 358 | 128 | 399 | 165 | 278 | 202 | 53 | 239 | 351 | 276 | 354 | 313 | 172 | 350 | 297 | 387 | 619 | 424 | 364 | 461 | 461 | 498 | 283 |
| 18 | 545 | 55 | 10 | 92 | 54 | 129 | 482 | 166 | 642 | 203 | 257 | 240 | 168 | 277 | 367 | 314 | 318 | 351 | 125 | 388 | 626 | 425 | 430 | 462 | 466 | 499 | 451 |
| 19 | 520 | 56 | 370 | 93 | 56 | 130 | 181 | 167 | 35 | 204 | 592 | 241 | 158 | 278 | 389 | 315 | 308 | 352 | 126 | 389 | 464 | 426 | 636 | 463 | 74 | 500 | 6 |
| 20 | 689 | 57 | 110 | 94 | 470 | 131 | 388 | 168 | 68 | 205 | 593 | 242 | 88 | 279 | 476 | 316 | 411 | 353 | 127 | 390 | 73 | 427 | 390 | 464 | 241 | 501 | 27 |
| 21 | 668 | 58 | 55 | 95 | 230 | 132 | 95 | 169 | 67 | 206 | 368 | 243 | 121 | 280 | 117 | 317 | 596 | 354 | 129 | 391 | 60 | 428 | 203 | 465 | 475 | 502 | 664 |
| 22 | 691 | 59 | 669 | 96 | 542 | 133 | 537 | 170 | 165 | 207 | 594 | 244 | 539 | 281 | 263 | 318 | 164 | 355 | 713 | 392 | 374 | 429 | 386 | 466 | 83 | 503 | 665 |
| 23 | 477 | 60 | 670 | 97 | 250 | 134 | 138 | 171 | 675 | 208 | 595 | 245 | 148 | 282 | 410 | 319 | 599 | 356 | 512 | 393 | 624 | 430 | 529 | 467 | 309 | 504 | 620 |
| 24 | 612 | 61 | 558 | 98 | 445 | 135 | 151 | 172 | 429 | 209 | 94 | 246 | 149 | 283 | 648 | 320 | 518 | 357 | 104 | 394 | 557 | 431 | 533 | 468 | 287 | 505 | 252 |
| 25 | 686 | 62 | 334 | 99 | 228 | 136 | 143 | 173 | 47 | 210 | 11 | 247 | 604 | 284 | 397 | 321 | 392 | 358 | 163 | 395 | 82 | 432 | 534 | 469 | 651 | 506 | 413 |
| 26 | 421 | 63 | 336 | 100 | 9 | 137 | 144 | 174 | 462 | 211 | 132 | 248 | 602 | 285 | 591 | 322 | 504 | 359 | 438 | 396 | 460 | 433 | 618 | 470 | 170 | 507 | 606 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 27 | 687 | 64 | 337 | 101 | 371 | 138 | 409 | 175 | 92 | 212 | 541 | 249 | 209 | 286 | 499 | 323 | 576 | 360 | 316 | 397 | 261 | 434 | 7 | 471 | 171 | 508 | 166 |
| 28 | 377 | 65 | 111 | 102 | 201 | 139 | 237 | 176 | 433 | 213 | 220 | 250 | 521 | 287 | 500 | 324 | 353 | 361 | 218 | 398 | 247 | 435 | 26 | 472 | 32 | 509 | 305 |
| 29 | 688 | 66 | 128 | 103 | 133 | 140 | 418 | 177 | 369 | 214 | 338 | 251 | 270 | 288 | 501 | 325 | 424 | 362 | 123 | 399 | 295 | 436 | 579 | 473 | 661 | 510 | 279 |
| 30 | 685 | 67 | 130 | 104 | 396 | 141 | 108 | 178 | 167 | 215 | 345 | 252 | 357 | 289 | 502 | 326 | 375 | 363 | 124 | 400 | 568 | 437 | 152 | 474 | 229 | 511 | 312 |
| 31 | 540 | 68 | 454 | 105 | 303 | 142 | 217 | 179 | 314 | 216 | 153 | 253 | 141 | 290 | 236 | 327 | 317 | 364 | 293 | 401 | 569 | 438 | 666 | 475 | 301 | 512 | 649 |
| 32 | 610 | 69 | 48 | 106 | 324 | 143 | 671 | 180 | 46 | 217 | 37 | 254 | 142 | 291 | 36 | 328 | 581 | 365 | 79 | 402 | 86 | 439 | 101 | 476 | 299 | 513 | 347 |
| 33 | 483 | 70 | 607 | 107 | 427 | 144 | 319 | 181 | 43 | 218 | 51 | 255 | 613 | 292 | 439 | 329 | 22 | 366 | 497 | 403 | 456 | 440 | 463 | 477 | 302 | 514 | 207 |
| 34 | 180 | 71 | 114 | 108 | 507 | 145 | 360 | 182 | 109 | 219 | 13 | 256 | 546 | 293 | 282 | 330 | 676 | 367 | 380 | 404 | 204 | 441 | 93 | 478 | 570 | 515 | 244 |
| 35 | 614 | 72 | 256 | 109 | 684 | 146 | 580 | 183 | 97 | 220 | 19 | 257 | 277 | 294 | 436 | 331 | 40 | 368 | 379 | 405 | 503 | 442 | 205 | 479 | 382 | 516 | 627 |
| 36 | 325 | 73 | 327 | 110 | 307 | 147 | 150 | 184 | 415 | 221 | 547 | 258 | 113 | 295 | 400 | 332 | 266 | 369 | 311 | 406 | 238 | 443 | 162 | 480 | 393 | 517 | 342 |
| 37 | 322 | 74 | 328 | 111 | 63 | 148 | 131 | 185 | 611 | 222 | 584 | 259 | 216 | 296 | 551 | 333 | 102 | 370 | 313 | 407 | 448 | 444 | 224 | 481 | 352 | 518 | 681 |

Tabla 13. Orden de ensamble propuesto de las órdenes de producción para la semana del 15 al 21 de Octubre de 2012

| Hora inicio | Lunes | Hora inicio | Martes | Hora inicio | Miércoles | Hora inicio | Jueves | Hora inicio | Viernes | Hora inicio | Sábado | Hora inicio | Domingo |
|-------------|---------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| 06:00:00 | 5446762 | 06:00:00 | 5512667 | 06:00:00 | 5302528 | 06:00:00 | 5490467 | 06:00:00 | 5512678 | 06:00:00 | 5423582 | 06:00:00 | 5507390 |
| 10:29:03 | 5428173 | 06:56:03 | 5501628 | 07:40:54 | 5397092 | 07:52:06 | 5510627 | 07:38:05 | 5476670 | 06:13:20 | 5514062 | 06:19:16 | 5513812 |
| 12:21:59 | 5428171 | 08:48:05 | 5446761 | 07:45:39 | 5512665 | 07:56:33 | 5495861 | 08:08:12 | 5517030 | 11:51:36 | 5465589 | 06:52:03 | 5485954 |
| 14:21:12 | 5490469 | 12:26:41 | 5302529 | 08:41:42 | 5495082 | 11:33:10 | 5479056 | 08:44:50 | 5510516 | 12:04:03 | 5511465 | 06:58:20 | 5511676 |
| 16:41:19 | 5493695 | 14:07:34 | 5476680 | 10:21:14 | 5507647 | 11:37:09 | 5508707 | 09:00:13 | 5505994 | 12:10:14 | 5516860 | 07:09:23 | 5513384 |
| 19:15:20 | 5302531 | 15:59:41 | 5512666 | 12:35:24 | 5516954 | 14:10:26 | 5504339 | 09:36:08 | 5510397 | 12:32:20 | 5508653 | 07:44:09 | 5469802 |
| 20:56:13 | 5490470 | 16:55:44 | 5493694 | 15:23:34 | 5516919 | 14:48:22 | 5513554 | 09:49:48 | 5418613 | 12:48:56 | 5511447 | 08:09:46 | 5512216 |
| 21:52:16 | 5302530 | 19:29:44 | 5453770 | 18:45:21 | 5476679 | 15:22:32 | 5504341 | 10:06:19 | 5507592 | 12:53:46 | 5485564 | 08:25:09 | 5515340 |
| | | 20:20:03 | 5495083 | 20:34:39 | 5515280 | 15:48:10 | 5516963 | 10:15:34 | 5508651 | 12:55:06 | 5515305 | 08:31:06 | 5508652 |
| | | | | | | | | 10:48:45 | 5472874 | 13:22:54 | 5516201 | 09:17:33 | 5490463 |
| | | | | | | | | 11:00:48 | 5483956 | 13:26:45 | 5513366 | 09:37:10 | 5479670 |
| | | | | | | | | 11:11:52 | 5483961 | 13:56:13 | 5509323 | 09:54:15 | 5516423 |
| | | | | | | | | 11:22:56 | 5479055 | 14:03:03 | 5510045 | 09:59:22 | 5508380 |
| | | | | | | | | 11:56:44 | 5503095 | 14:09:53 | 5479050 | 10:23:58 | 5513500 |
| | | | | | | | | 12:08:41 | 5514143 | 14:31:01 | 5485826 | 10:28:46 | 5513872 |
| | | | | | | | | 13:07:42 | 5510414 | 15:34:46 | 5513134 | 10:43:49 | 5516217 |
| | | | | | | | | 13:36:36 | 5513368 | 15:35:39 | 5509558 | 10:50:05 | 5516556 |
| | | | | | | | | 14:33:59 | 5423580 | 16:25:14 | 5495081 | 10:54:37 | 5485959 |
| | | | | | | | | 14:41:56 | 5509569 | | | 10:58:11 | 5485829 |
| | | | | | | | | 14:52:11 | 5514130 | | | 11:31:23 | 5504159 |
| | | | | | | | | 15:16:08 | 5514213 | | | 11:38:13 | 5495403 |
| | | | | | | | | 15:40:05 | 5479057 | | | 12:07:58 | 5504180 |
| | | | | | | | | 15:56:54 | 5506052 | | | 12:28:43 | 5504222 |
| | | | | | | | | 16:20:50 | 5506652 | | | 12:49:28 | 5504292 |
| | | | | | | | | 16:44:47 | 5507236 | | | 13:10:12 | 5504296 |

| Hora inicio | Lunes | Hora inicio | Martes | Hora inicio | Miércoles | Hora inicio | Jueves | Hora inicio | Viernes | Hora inicio | Sábado | Hora inicio | Domingo |
|-------------|-------|-------------|--------|-------------|-----------|-------------|--------|-------------|----------------|-------------|--------|-------------|----------------|
| | | | | | | | | 17:08:44 | 5427923 | | | 13:30:57 | 5511484 |
| | | | | | | | | 17:15:22 | 5509329 | | | 13:56:34 | 5516144 |
| | | | | | | | | 17:31:57 | 5510405 | | | 14:01:42 | 5418612 |
| | | | | | | | | 17:48:33 | 5508649 | | | 14:06:07 | 5513464 |
| | | | | | | | | 19:24:11 | 5499234 | | | 14:23:18 | 5402724 |
| | | | | | | | | 19:34:26 | 5513138 | | | 14:24:58 | 5403274 |
| | | | | | | | | 19:39:32 | 5470270 | | | 14:25:58 | 5513376 |
| | | | | | | | | 19:44:30 | 5508685 | | | 14:54:17 | 5510411 |
| | | | | | | | | 19:51:04 | 5498562 | | | 14:57:59 | 5484813 |
| | | | | | | | | 20:15:00 | 5498615 | | | 15:13:12 | 5516170 |
| | | | | | | | | 20:38:57 | 5498910 | | | 15:21:30 | 5480492 |
| | | | | | | | | 21:02:54 | 5499331 | | | 15:27:06 | 5480683 |
| | | | | | | | | 21:26:50 | 5480879 | | | 15:32:38 | 5480843 |
| | | | | | | | | 21:35:08 | 5480756 | | | 15:38:10 | 5513540 |
| | | | | | | | | 21:52:03 | 5516899 | | | 15:54:55 | 5497083 |
| | | | | | | | | | | | | 16:10:53 | 5514042 |
| | | | | | | | | | | | | 16:37:33 | 5396525 |
| | | | | | | | | | | | | 16:42:32 | 5485960 |
| | | | | | | | | | | | | 16:46:06 | 5514598 |
| | | | | | | | | | | | | 16:58:04 | 5503616 |
| | | | | | | | | | | | | 17:06:37 | 5508389 |
| | | | | | | | | | | | | 17:23:12 | 5512205 |
| | | | | | | | | | | | | 18:07:17 | 5510297 |
| | | | | | | | | | | | | 18:15:41 | 5510520 |
| | | | | | | | | | | | | 18:23:59 | 5516560 |
| | | | | | | | | | | | | 18:27:11 | 5506500 |
| | | | | | | | | | | | | 18:39:09 | 5504649 |
| | | | | | | | | | | | | 18:55:45 | 5497835 |
| | | | | | | | | | | | | 19:08:11 | 5499625 |
| | | | | | | | | | | | | 19:13:19 | 5511878 |
| | | | | | | | | | | | | 19:21:42 | 5470272 |
| | | | | | | | | | | | | 19:49:22 | 5514994 |
| | | | | | | | | | | | | 19:54:44 | 5504496 |
| | | | | | | | | | | | | 20:03:02 | 5507227 |
| | | | | | | | | | | | | 21:25:21 | 5516911 |
| | | | | | | | | | | | | 21:26:09 | 5498822 |
| | | | | | | | | | | | | 21:38:08 | 5498955 |
| | | | | | | | | | | | | 21:50:06 | 5503557 |
| | | | | | | | | | | | | 21:53:25 | 5497081 |

Tabla 14. Programación de la producción propuesta para la semana del 15 al 21 de Octubre de 2012

La **Tabla 13** muestra la posición en la que se hubiera realizado el ensamble de las primeras 518 órdenes de fabricación si se hubiera usado el programador de la producción a través de la metodología de la Minimización de la Tardanza Total Ponderada, resuelta por medio de la metaheurística de GRASP, en la semana del 15 al 21 de Octubre. Asimismo, la **Tabla 14** muestra la programación que se hubiera tenido para la misma semana.

Se observó que para diferente número de iteraciones que realizó el modelo, la función objetivo se mantuvo en el mismo valor. Esto se evidenció al ejecutar el modelo 30 veces, 5 por cada número de iteraciones, obteniendo los resultados que se muestran en la **Tabla 15**.

| No. Iteraciones | Tiempo promedio ejecución | Valor Función Objetivo |
|-----------------|---------------------------|------------------------|
| 10 | 29,4 segundos | 90842,4216 |
| 20 | 38,2 segundos | 90842,4216 |
| 50 | 65,6 segundos | 90842,4216 |
| 100 | 152,2 segundos | 90842,4216 |
| 150 | 223,2 segundos | 90842,4216 |
| 200 | 360 segundos | 90842,4216 |

Tabla 15. Resultados del modelo para diferente número de iteraciones

A medida que incrementa el número de iteraciones incrementa el tiempo de ejecución del programa, pero no necesariamente disminuye el valor de la función objetivo. Por esta razón, se considera que un buen número de iteraciones es de 100, que garantizando un buen cubrimiento en búsqueda local, buen valor de la función objetivo y un tiempo de ejecución razonable.

Asimismo se evidenció la efectividad de la función incremental con la cual se construyó la solución inicial del problema. El haber ampliado el alcance de la RCL a todo el conjunto solución permitió el buen desempeño del modelo.

5. Impacto del modelo

Teniendo en cuenta que la secuencia de las órdenes de producción no afecta el tiempo total de ensamble ni su facturación total, el análisis del impacto generado por el modelo se debe realizar para un tiempo determinado. En este caso, a partir de la minimización de la tardanza total ponderada se va a realizar el análisis para ver el incremento en la facturación diaria si se usara esta metodología de programación, y al final se va a hacer un consolidado semanal.

Se definió el siguiente indicador para medir el impacto del modelo sobre el desempeño de la empresa:

- **Incremento en la facturación diaria:** Mide el porcentaje de incremento en la facturación diaria de una línea de ensamble, comparando los valores reales con los valores que se hubieran obtenido con la metodología de Minimización de la Tardanza Total Ponderada

$$\% \text{ variación en la facturación diaria} = \left(\frac{\text{Facturación con modelo}}{\text{Facturación anterior}} - 1 \right) \times 100$$

5.1. Resultados

La **Tabla 16** muestra los resultados en cuanto a la facturación diaria para la programación de la producción de la semana del 15 al 21 de Octubre. En esta semana se trabajaron 2 turnos de ensamble, y las órdenes se organizaron por fecha de vencimiento.

| | Facturación según experiencia de jefes de la mini-fábrica | Facturación según modelo de Minimización de Tardanza Total Ponderada a través de GRASP | % Variación |
|------------------|---|--|---------------|
| Lunes | \$ 40,288,103.74 | \$ 62,306,025.41 | 54.65% |
| Martes | \$ 56,545,497.95 | \$ 48,269,263.88 | -14.64% |
| Miércoles | \$ 46,124,399.59 | \$ 53,148,846.53 | 15.23% |
| Jueves | \$ 33,741,552.87 | \$ 53,858,250.81 | 59.62% |
| Viernes | \$ 11,855,778.09 | \$ 43,979,243.89 | 270.95% |
| Sábado | \$ 71,245,074.55 | \$ 26,096,665.81 | -63.37% |
| Domingo | \$ 21,187,811.74 | \$ 53,436,296.99 | 152.20% |
| TOTAL | \$ 280,988,218.52 | \$ 341,094,593.31 | 21.39% |

Tabla 16. Diferencias en la facturación semanal según tipo de programación

La facturación diaria con el modelo basado en la experiencia y criterio de los jefes de las mini-fábricas se calcula a partir de la organización de los trabajos desde el más antiguo hasta el más reciente, sumando los tiempos de ensamble de todas las órdenes. El cálculo de la facturación con la metodología de Minimización de la Tardanza Total Ponderada por medio de la metaheurística GRASP se calcula de la misma forma, teniendo en cuenta la secuencia generada por el modelo.

Se puede apreciar un incremento del 21% aproximadamente en la facturación de la línea de ensamble de Duchas y Regaderas sencillas para un periodo de una semana. Como se mencionaba anteriormente, el tiempo de ejecución y la facturación total van a ser los mismos independientemente de la secuencia que se escoja. En este orden de ideas, el 21% representa el costo de oportunidad semanal de la facturación por no tener en cuenta más criterios aparte de la fecha de vencimiento del producto, y no tener una herramienta que permita realizar la programación de la producción de forma eficiente. Más adelante en el Capítulo V se muestra el impacto económico que tiene el incrementar la velocidad de facturación de una empresa.

6. Propuesta de Políticas de uso

Para garantizar el uso eficiente de esta metodología, no solamente se debe limitar a la propuesta de la herramienta como tal, sino que se debe velar que todo el trabajo se encuentre alineado con las metodologías, recursos y necesidades de la empresa. Por esta razón se plantearon una serie de políticas para el uso adecuado del modelo, que van desde el tutorial del uso del programa, hasta la capacitación a las personas encargadas de realizar la programación de la producción en las diferentes mini-fábricas.

6.1. Uso del programa

En la **Figura 24** se presenta el diagrama de proceso del uso de la herramienta para la programación de la producción. Esta secuencia se debe seguir diariamente para garantizar el impacto generado en las líneas de ensamble de cada mini-fábrica.

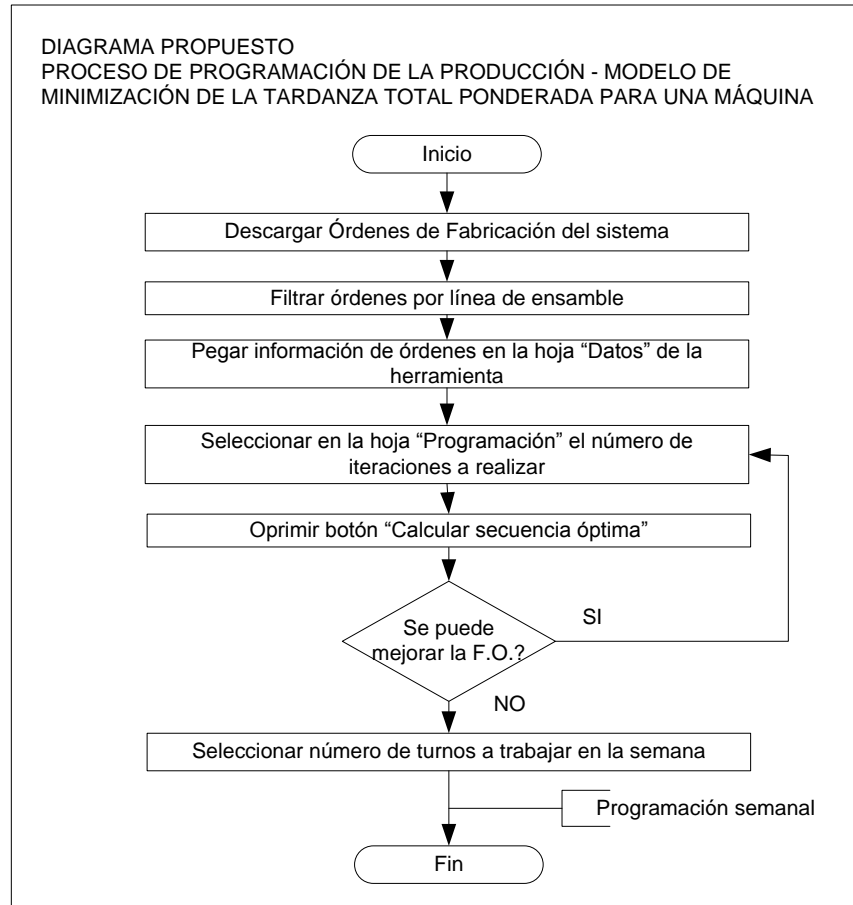


Figura24. Diagrama propuesto para la programación de la producción según modelo de Minimización de la Tardanza Total Ponderada a través de GRASP

Igualmente, en el **Anexo 4** se encuentra el tutorial para el uso del programa desarrollado. Allí se explica de una forma didáctica cómo se debe realizar el proceso de programación de la producción paso a paso. Se parte de la selección de la línea de ensamble a programar, el número de turnos a trabajar en la semana y el número de iteraciones a realizar por el modelo, y termina en la generación de la secuencia óptima y programación de la producción.

6.2. Políticas de cambio de secuencia

Teniendo en cuenta los indicadores de medición de la eficiencia del modelo y el día a día de la operación, se determinaron las siguientes políticas de revisión de las secuencias propuestas:

- **Órdenes que no se pueden ensamblar:** Si por razones de materias primas, componentes u otra razón de fuerza mayor, alguna orden no se puede ensamblar, se deberá continuar con la siguiente orden de ensamble en la secuencia. La orden pendiente deberá ser incluida de nuevo en la programación de la producción al día siguiente, o cuando el jefe respectivo determine que esta se puede ensamblar. Se debe dejar sentado un comentario dentro de la hoja de la base, para tener trazabilidad de los pedidos sin manufacturar y sus causas. Esto sirve para detectar áreas de oportunidad dentro del proceso de ensamble de las órdenes de fabricación y sirven para generar trazabilidad y procesos de mejora continua.
- **Cambio de fechas de entrega:** El cambio de la fecha de cualquier orden debe ser cambiada manualmente dentro de la base para realizar la programación de la producción (Ver **Anexo 4**). Una vez se realicen los cambios pertinentes a las fechas, se debe correr el modelo de nuevo para llegar a una secuencia óptima.
- **Cambio de prioridades:** Si se llega a dar algún cambio en la prioridad de algún pedido, se deberá cambiar manualmente en la hoja de programación de la producción (ver **Anexo 4**). Una vez se realicen los cambios pertinentes a las prioridades, se debe correr el modelo de nuevo para llegar a una secuencia óptima.

El modelo de programación de la producción deberá ser revisado trimestralmente, determinando si la función objetivo se está ajustando a los requerimientos y políticas de la empresa. Se deberá revisar el método de cálculo de las ponderaciones según los lineamientos de la empresa, y se deberán revisar más modelos de programación y métodos de solución, evaluados a través del indicador de Porcentaje de variación de la facturación diaria.

6.3. Capacitación

Según la teoría de la Dirección por Implicación (DPI), que trata la manera de implementar cambios estratégicos dentro de las organizaciones con base en el capital humano⁷⁵, las empresas deben resolver su paradoja humano-técnica a partir de metodologías inclusivas en las cuales se potencie el cambio cultural y organizacional controlando el riesgo asociado al mismo. Esto solamente se logra con propuestas de mejora basadas en dimensiones técnicas (entendidas como una serie de conocimientos apoyados en recursos tecnológicos disponibles), en donde las personas cuenten con un marco teórico conceptual que les permita generar aprendizaje sobre la tarea que están desarrollando⁷⁶.

Se deben tener en cuenta capacitaciones para las personas involucradas en el proceso de programación de la producción, en donde se les explique el fundamento teórico de los modelo y cómo estos son capaces de producir mejores secuencias y programaciones de la producción. Para garantizar que las personas cuenten con un marco conceptual adecuado, y que la herramienta no va a ser una “Caja Negra”, se propusieron capacitaciones en el tema de Gerencia de Producción,

⁷⁵ LOPEZ CABARCOS, Ma. Ángeles y GRANDIO DOPICO, Antonio. Capital Humano como fuente de ventajas competitivas. España: Netbiblo, 2005. P 75.

⁷⁶ Ibid p 82.

por medio del diplomado que dicta el departamento de Educación Continua de la Pontificia Universidad Javeriana. Su costo se encuentra presupuestado en el Capítulo V de Evaluación financiera.

Para garantizar el éxito de la implementación de la propuesta, las personas deben conocer el problema y darse cuenta del impacto que este está generando dentro de la organización. Se propone realizar una socialización de este Trabajo de Grado a todos los jefes de las mini-fábricas. De esta forma se deja sentado que la herramienta generada puede ser una ayuda para mejorar el proceso de programación de la producción. Teniendo en cuenta que los jefes de las mini-fábricas llevan un largo periodo de tiempo programando la producción según su experiencia, se debe generar una propuesta flexible para disminuir el impacto del cambio. Según José Aguilar, la flexibilidad en las nuevas propuestas es un factor que genera confianza en las personas y facilita el acceso al cambio de forma rápida⁷⁷. Se propone manejar el tema de la resistencia al cambio con los jefes a partir de la flexibilización de la herramienta, es decir, a través de sus políticas de uso. Como se puede observar en la sección anterior, todos los cambios que se le vayan a realizar a la programación de la producción deben ser realizados de forma manual, permitiéndole a la persona conocer la herramienta e integrarla en su día a día, generando más confianza y facilitando la gestión del cambio de cultura.

Con esta propuesta se garantiza que el empleado va a conocer el problema, a ver el impacto que este está generando dentro de la empresa, y a ver como las capacitaciones y la herramienta desarrollada van a ayudar en la consecución del logro, que para este caso es generar una mejor programación de la producción en las líneas de ensamble de la planta. De esta forma se fija un norte claro en la persona, y se crea la visión de necesidad de cambio para la mejora, garantizando el éxito de la herramienta implementada⁷⁸.

⁷⁷ AGUILAR, José. Nuevas tendencias en la gestión del cambio. Revista Empresa y Humanismo. Barcelona: 2003.

⁷⁸ LOPEZ CABARCOS, Ma. Ángeles y GRANDIO DOPICO, Antonio. Op. Cit. p 85.

CAPÍTULO V. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La propuesta de mejora realizada a la empresa Grifería y Complementos Corona se basa en dos frentes de trabajo, la mejora a la gestión de generación de pronósticos y la mejora al sistema de programación de la producción. Por este motivo la evaluación económica se divide en estos dos componentes, los cuales se integran posteriormente para dar cuenta del impacto total de las propuestas realizadas en el trabajo.

1. Pronósticos

Un modelo de producción “Justo a Tiempo” basa su producción en la demanda real que se da en el día a día. Los pronósticos de la demanda en un modelo de producción bajo pedido no sirven para producir lo que se estima, sino que sirven para tener una idea acerca de los recursos que van a ser consumidos durante un periodo determinado. De acuerdo con estos pronósticos se realizan las compras de material, la adquisición de nuevas máquinas o el incremento de la capacidad de la planta, y la contratación o disminución del personal dentro de la misma.

Una mejora sobre la gestión actual del proceso de generación de pronósticos tendrá gran impacto en los costos asociados a la planeación y gestión de los recursos. Si el pronóstico está por debajo del valor real de la demanda, la empresa incurrirá en costos asociados a pedidos extras o desabastecimiento de material, mientras que si los valores pronosticados están por encima del valor real de la demanda, la empresa incurrirá en sobrecostos de inventario y almacenamiento del mismo.

A continuación se presentan los costos tanto de almacenamiento como de abastecimiento para la empresa Grifería y Complementos Corona, calculados a partir de los datos del segundo trimestre del año 2012, comprendido entre Abril y Junio.

1.1. Costos de almacenamiento

Para calcular cualquier costo asociado al inventario, es pertinente determinar el inventario promedio para el periodo en el cual se va a realizar el cálculo. Para este caso, se realizó el cálculo del inventario promedio de materia prima para el segundo trimestre de 2012. El valor del inventario promedio se calculó a partir del promedio de los inventarios iniciales de cada periodo y el final del último, como se muestra a continuación:

| Periodo | Valor del inventario |
|----------------------------|--------------------------|
| Inventario inicial Abril | \$ 14.768.332.749 |
| Inventario inicial Mayo | \$ 14.896.789.449 |
| Inventario inicial Junio | \$ 15.196.326.498 |
| Inventario final Junio | \$ 14.927.881.847 |
| Inventario promedio | \$ 14.947.332.636 |

Tabla 17. Cálculo valor inventario promedio

Habiendo calculado el inventario promedio para el segundo trimestre de 2012, se procedió a calcular cada uno de los costos con sus respectivos componentes.

1.1.1. Costo financiero

Cuando la empresa Grifería y Complementos Corona tiene exceso de flujo de caja, este es invertido en fiducias en los bancos Helm y Bancolombia, dependiendo del rendimiento que presenta cada uno de estos. La empresa actualmente está invirtiendo en CDT's en el banco Helm, y dado que el cálculo del costo del inventario se realizó para el segundo trimestre del año, se tiene que el rendimiento de un CDT en un plazo de 90 días es del **3,47%** para dicho periodo.

1.1.2. Costo de mantenimiento

Dentro del costo de mantenimiento se tienen las siguientes partidas, cada una con su respectivo costo trimestral y el porcentaje de participación sobre el inventario promedio:

| Concepto | Detalle | Costo (\$) | % |
|---|------------------------------------|-------------------|----------------|
| Interés renta | Total planta (19856 m2) | \$ 4.978.795.200 | 33,3089% |
| | Área almacenamiento MP (2400m2) | \$ 601.788.300 | 4,0261% |
| | Área almac. MP (trimestral) | \$ 150.447.075 | 1,0065% |
| Seguros (incendio, Terremoto, lucro cesante, etc.) | Total planta (anual) | \$ 189.000.000 | 1,2644% |
| | Total materias primas (20% anual) | \$ 37.800.000 | 0,2529% |
| | Total materias primas (trimestral) | \$ 9.450.000 | 0,0632% |
| Seguridad | Empresa outsourcing (anual) | \$ 169.000.000 | 1,1306% |
| | Personal interno (anual) | \$ 86.000.000 | 0,5754% |
| | Total seguridad anual | \$ 255.000.000 | 1,7060% |
| | Total seguridad MP (20% total) | \$ 51.000.000 | 0,3412% |
| | Total seg. MP (trimestral) | \$ 12.750.000 | 0,0853% |
| Agua | Total planta 2do trimestre | \$ 36.497.280 | 0,2442% |
| | Total MP (5% total) | \$ 1.824.864 | 0,0122% |
| Luz | Total planta 2do trimestre | \$ 542.749.820 | 3,6311% |
| | Total MP (5% total) | \$ 27.137.491 | 0,1816% |
| Aseo | Outsourcing (anual) | \$ 84.000.000,00 | 0,5620% |
| | Insumos de aseo (anual) | \$ 41.000.000,00 | 0,2743% |
| | Total aseo planta (anual) | \$ 125.000.000,00 | 0,8363% |
| | Total aseo área MP (anual) | \$ 15.108.783 | 0,1011% |
| | Total aseo trimestral | \$ 3.777.196 | 0,0253% |
| Equipo de manipulación de carga (5 montacargas eléctricos) | Potencia total (5 montacargas) | 84,5 Kw | |
| | Costo Kw/h | \$ 356 | |
| | Promedio uso por mes (en horas) | 480 horas | |
| | Costo promedio por mes | \$ 14.439.360 | 0,0966% |
| | Costo trimestral | \$ 43.318.080 | 0,2898% |
| Otros costos | Reparaciones locativas almacén | \$ 10.000.000 | 0,0669% |

Tabla 18. Costos de mantenimiento del inventario de Materias Primas

El costo total de mantenimiento del inventario estuvo en **1,73%** para el segundo trimestre del año.

1.1.3. Costo de nómina

Actualmente la empresa Grifería y Complementos Corona cuenta con 15 colaboradores que trabajan en el área de almacenamiento de materias primas, manejando la logística del almacén de materias primas. Para el cálculo del costo nominal se tuvo en cuenta el factor prestacional que maneja la empresa (70%).

| Concepto | Numero personas | Costo (\$) | % |
|-------------------------|-----------------|---------------|----------------|
| Salario básico | | \$ 820.000 | 0,0055% |
| Salario + FP (70%) | | \$ 1.394.000 | 0,0093% |
| Total nómina mensual | 15 | \$ 20.910.000 | 0,1399% |
| Total nomina trimestral | 15 | \$ 62.730.000 | 0,4197% |

Tabla 19. Costos de nómina del inventario de Materias Primas

1.1.4. Costo de depreciación

En la empresa Grifería y Complementos Corona no se maneja un costo de depreciación, sino que se realiza una provisión anual para cubrir los costos y gastos incurridos por la obsolescencia de la materia prima. Se tiene que el costo asociado a la depreciación y obsolescencia es el siguiente:

| Concepto | Detalle | Costo (\$) | % |
|--------------------------------------|----------------------|----------------|----------------|
| Provisión para inventarios obsoletos | Provisión anual | \$ 295.800.000 | 1,9789% |
| | Provisión trimestral | \$ 73.950.000 | 0,4947% |

Tabla 20. Costos de depreciación del inventario de Materias Primas

1.1.5. Total costos de almacenamiento

| Concepto | % Relativo | % Total |
|------------------------------|--------------|-------------|
| Costo financiero | 3,470% | 56,744% |
| Interés renta | 1,007% | 16,459% |
| Seguros | 0,063% | 1,034% |
| Seguridad | 0,085% | 1,395% |
| Agua | 0,012% | 0,200% |
| Luz | 0,182% | 2,969% |
| Aseo | 0,025% | 0,413% |
| Equipos de manipulación | 0,290% | 4,739% |
| Otros costos | 0,067% | 1,094% |
| Nomina de personas en bodega | 0,420% | 6,863% |
| Costo de depreciación | 0,495% | 8,090% |
| TOTAL | 6,12% | 100% |

Tabla 21. Costos totales del inventario de Materias Primas

Se tiene un costo de almacenamiento del **6,12%** para un inventario promedio de \$14.947'332.636, para el segundo trimestre del 2012. Por medio de conversión de tasas se obtiene que el costo de almacenamiento mensual es de aproximadamente el **2%**:

$$(1 + 0.0612) = (1 + i_{Mensual})^3$$

$$i_{Mensual} = 1,999\% \approx 2\%$$

1.2. Costos de abastecimiento

Dentro del área de abastecimiento, la empresa maneja funciones tanto de negociación como de puesta de órdenes de compra. Actualmente el área de negociación de compras locales cuenta con un jefe de abastecimiento y tres colaboradores, encargados de negociar los acuerdos comerciales y tarifas anuales. Por otro lado se cuenta con 4 personas que son las encargadas de realizar las compras y que, con base en el modelo de gestión de inventarios, generan las órdenes de compra y le hacen seguimiento a los pedidos.

Se calculó el costo por orden de compra teniendo en cuenta la nómina de las personas involucradas dentro del proceso, los recursos consumidos en el mismo y el número de órdenes generadas en el segundo trimestre del 2012.

1.1. Costo de abastecimiento local

| Costos nómina | | | | |
|--|----------------------|------------------|------------|--------------|
| | Cantidad | Sueldo | FP | Salario |
| Jefe abastecimiento | 1 | \$ 5.000.000 | 0,7 | \$ 8.500.000 |
| Facilitadores | 3 | \$ 1.500.000 | 0,7 | \$ 7.650.000 |
| Compradores | 4 | \$ 1.200.000 | 0,7 | \$ 8.160.000 |
| Costos recursos | | | | |
| | Abril | Mayo | Junio | |
| Papelería | \$ 17.900 | \$ 14.300 | \$ 15.800 | |
| Servicios | \$ 120.000 | \$ 115.000 | \$ 132.000 | |
| Total costo trimestral | \$ 73.345.000 | | | |
| Total órdenes de compra generadas II trimestre 2012 | | 3382 | | |
| Costo /Orden de compra local | | \$ 21.687 | | |

Tabla 22. Costos de abastecimiento local

Se tiene un costo de **\$21,700** pesos por orden de compra local para el segundo trimestre del 2012.

1.3. Análisis de datos

En la **Tabla 22** se pueden apreciar los valores de demanda real para Junio de 2012, junto con las reducciones en el MAD y el valor actual de la TS para el mismo periodo. Adicionalmente se muestran los costos de materias primas para cada una de las referencias, calculados a partir de la explosión de materiales que se realizó para las mismas. El cálculo de estos costos se basó en los archivos de Listas y Rutas de la empresa, que manejan los tiempos de ensamble de cada referencia y su consumo en materiales.

Teniendo en cuenta las mejoras en los niveles de los errores de la generación de los pronósticos, por medio del análisis del MAD y la señal de rastreo (TS), se procedió a realizar la cuantificación de la mejora obtenida a partir de la implementación de la metodología ARIMA en la empresa. Realizando el análisis en conjunto de las mejoras en el MAD y la TS se pueden discriminar los valores que estuvieron tanto por encima como por debajo de la demanda, y se les puede asociar su respectivo costo.

| Referencia | Descripción | Demanda real Junio 2012 | Reducción MAD Junio 2012 | TS | Costo MP/Unidad | Costo MP Demanda Junio | Costo MP Reducción MAD | % Reducción Costo MP |
|------------|------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|-------|-----------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 324603331 | Pqte_Dh_Senc_Briza_x_4 | 4830 | 427,1666667 | 2,33 | \$ 11.225,22 | \$ 54.217.814,59 | \$ 4.795.039,99 | 8,844% |
| 19190001 | Rpto_Grapa_Lvm_2Und | 76624 | 2419 | 1,12 | \$ 158,32 | \$ 12.131.111,68 | \$ 382.976,08 | 3,157% |
| 591360001 | Cj_Lvm_4p_Crr_r_Vento_Eco | 4061 | 144,1666667 | -2,57 | \$ 11.064,58 | \$ 44.933.248,45 | \$ 1.595.143,23 | 3,550% |
| 415165551 | Subcj_Lvp_8P_Athenea_Pico_Higt_Arc | 2863 | 211,3333333 | -1,68 | \$ 10.675,19 | \$ 30.563.075,82 | \$ 2.256.023,99 | 7,382% |
| 545050001 | Subcj_Mezcl_Lvp_Piscis_Pico_Cisne | 4349 | 418,825 | -4,70 | \$ 10.256,41 | \$ 44.605.124,96 | \$ 4.295.640,71 | 9,630% |
| 324403331 | Pqte_Registro_Briza_x6 | 1636 | 89,50666667 | -0,60 | \$ 8.401,16 | \$ 13.744.293,67 | \$ 751.959,60 | 5,471% |
| 380183331 | Pqte_Griflex_Lvm_x_12 | 4697 | 302,6933333 | 2,27 | \$ 302,99 | \$ 1.423.161,95 | \$ 91.714,21 | 6,444% |
| 734010001 | C_Ducha_Electrica_110v_Lanni | 1615 | 0 | N/A | \$ 10.230,00 | \$ 16.521.450,00 | \$ - | 0,000% |
| 544108881 | Ducha_SSB_8P_Talori_constructor | 1942 | 248,82 | 2,63 | \$ 14.476,84 | \$ 28.114.020,99 | \$ 3.602.127,04 | 12,813% |
| 414110001 | Dh_8P_Cta_Balta_SU_SSB | 1485 | 267,8133333 | -3,66 | \$ 18.597,52 | \$ 27.617.320,35 | \$ 4.980.664,39 | 18,035% |
| 414175551 | Ducha_Mezc_SSB_Athenea | 1305 | -9,221666667 | -2,75 | \$ 15.664,09 | \$ 20.441.640,13 | \$ (144.449,04) | -0,707% |
| 414120001 | Dh_8P_Plnca_Balta_SU_SSB | 1095 | 262,315 | -5,15 | \$ 18.475,11 | \$ 20.230.247,75 | \$ 4.846.299,03 | 23,956% |
| 591450001 | Grifería_Lvm_Cj_4Plg_Vento_E | 2001 | 3,39 | 3,10 | \$ 10.201,17 | \$ 20.412.550,39 | \$ 34.581,98 | 0,169% |
| 734160001 | Ducha_Electrica_110v_Tempesta_EA | 319 | 0 | N/A | \$ 8.500,00 | \$ 2.711.500,00 | \$ - | 0,000% |
| 544300001 | Ducha_Senc_Piscis_Bl | 3358 | 841,9916667 | 3,86 | \$ 6.742,86 | \$ 22.642.525,82 | \$ 5.677.432,42 | 25,074% |
| 324503331 | Pqte_Mezc_Dh_Briza_x_4 | 672 | 59,95 | -0,08 | \$ 36.110,19 | \$ 24.266.045,04 | \$ 2.164.805,66 | 8,921% |
| 794190001 | Ducha_Monocontrol_SSB_Tunez | 583 | 55,59166667 | 5,05 | \$ 48.794,36 | \$ 28.447.109,78 | \$ 2.712.559,60 | 9,535% |
| NH4010001 | Ducha_Monoc_SSB_Nahla | 169 | 42,46166667 | -0,34 | \$ 104.324,40 | \$ 17.630.823,85 | \$ 4.429.787,96 | 25,125% |
| 584108881 | Ducha_SSB_Kelda_constructor | 913 | -17,30833333 | 2,42 | \$ 17.862,76 | \$ 16.308.703,37 | \$ (309.174,67) | -1,896% |
| 380140001 | Griflex_Lvm_Lvp_EA | 35203 | 10142,50667 | -2,75 | \$ 161,37 | \$ 5.680.599,82 | \$ 1.636.665,10 | 28,811% |
| 325643331 | Pqte_Lvp_Sen_Briza_Griflex4 | 747 | 47,57 | -2,68 | \$ 40.957,55 | \$ 30.595.287,10 | \$ 1.948.350,48 | 6,368% |
| 414130001 | Dh_Sencilla_Cta_Balta | 1542 | 313,7916667 | -4,30 | \$ 11.552,79 | \$ 17.814.401,10 | \$ 3.625.169,01 | 20,350% |
| RE4000001 | Ducha_SSB_Retto | 48 | 4 | 3,48 | \$ 74.567,56 | \$ 3.579.243,09 | \$ 298.270,26 | 8,333% |
| 325653331 | Pqte_Mezc_Lvp_Briza_can4x4 | 470 | 13,70333333 | 1,78 | \$ 35.695,28 | \$ 16.776.780,60 | \$ 489.144,29 | 2,916% |
| 18043331 | Pqte_Vastago_Ducha_x_6 | 1879 | 2,373333333 | 3,48 | \$ 9.307,53 | \$ 17.488.855,71 | \$ 22.089,88 | 0,126% |
| 585920001 | Cj_Lvp_Mezcl_Fenix | 96 | 67,48833333 | -0,86 | \$ 15.279,89 | \$ 1.466.869,53 | \$ 1.031.214,37 | 70,300% |

| Referencia | Descripción | Demanda real Junio 2012 | Reducción MAD Junio 2012 | TS | Costo MP/Unidad | Costo MP Demanda Junio | Costo MP Reducción MAD | % Reducción Costo MP |
|--------------|---|----------------------------|-----------------------------|-------|-----------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| MA4008881 | Ducha_Monocontrol_SSB_Malva_constructor | 573 | 23,09333333 | 3,42 | \$ 21.659,95 | \$ 12.411.154,00 | \$ 500.200,55 | 4,030% |
| 435003331 | Pqte_Subcj_Mezcl_Lvp_Dalia_Clla_4P_X_4 | 351 | 36,86166667 | 3,14 | \$ 27.714,61 | \$ 9.727.828,48 | \$ 1.021.606,75 | 10,502% |
| 724208881 | Ducha_SSB_Plnca_Vera_constructor | 321 | 56,06333333 | 5,58 | \$ 29.617,50 | \$ 9.507.217,24 | \$ 1.660.455,73 | 17,465% |
| 724200001 | Ducha_mezc_SSB_Plnca_Novo | 79 | -9,293333333 | -1,96 | \$ 50.285,33 | \$ 3.972.541,25 | \$ (467.318,35) | -11,764% |
| VA5008881 | Subcj_Lvp_Monoc_Vera_constructor | 323 | 24,12 | -1,83 | \$ 43.984,69 | \$ 14.207.055,06 | \$ 1.060.910,74 | 7,467% |
| 594108881 | Ducha_SSB_Cora_constructor | 213 | 33,16166667 | 0,03 | \$ 17.828,79 | \$ 3.797.531,60 | \$ 591.232,29 | 15,569% |
| 415000001 | Cj_Lvp_8P_Cta_Balta_Pico_Prakti | 561 | 78,29 | -3,34 | \$ 12.263,45 | \$ 6.879.797,59 | \$ 960.105,80 | 13,955% |
| 935125551 | Cnlla_4Plg_Sfon_P_Griflx_x2_M16_CP2 | 2288 | 193,8333333 | 1,79 | \$ 1.938,14 | \$ 4.434.467,13 | \$ 375.676,38 | 8,472% |
| 794200001 | Ducha_Monoc_SSB_Praga | 187 | 8,666666667 | 2,26 | \$ 60.393,98 | \$ 11.293.674,94 | \$ 523.414,52 | 4,635% |
| TOTAL | | | | | | \$ 616.595.072,86 | \$ 57.440.319,97 | 9,316% |

Tabla 23. Resultados de la mejora en los pronósticos a través de la metodología ARIMA

La **Tabla 23** muestra el ahorro de las materias primas asociadas a los errores MAD de los pronósticos para todas las referencias, pero antes de realizar la cuantificación del beneficio que se obtiene al implementar esta metodología, se debe discriminar cuales referencias obtuvieron una disminución en el costo de materias primas y almacenamiento, y cuales en el costo de abastecimiento.

El criterio para asignar el ahorro es el valor de la señal de rastreo (TS), debido a que si el valor de la TS es menor a cero, se está pronosticando por encima de la demanda real y se le debe asociar el costo de las materias primas más el costo de almacenamiento de las mismas. Por otro lado, si la TS es positiva, se está pronosticando por debajo de la demanda real y se le debe asociar el costo de abastecimiento. Para esto, se totaliza el número de referencias de Producto Terminado con las que cuenta la referencia y se le asocia un costo de pedido a cada una de las mismas. Esta información se puede apreciar en las **Tablas 24 y 25**.

| Referencia | TS | Costo MP/Unidad | Costo MP Demanda Junio | Costo MP Reducción MAD | % Reducción Costo MP |
|-----------------------------|-------|-----------------|--------------------------|-------------------------|----------------------|
| 591360001 | -2,57 | \$ 11.064,58 | \$ 44.933.248,45 | \$ 1.595.143,23 | 3,550% |
| 415165551 | -1,68 | \$ 10.675,19 | \$ 30.563.075,82 | \$ 2.256.023,99 | 7,382% |
| 545050001 | -4,70 | \$ 10.256,41 | \$ 44.605.124,96 | \$ 4.295.640,71 | 9,630% |
| 324403331 | -0,60 | \$ 8.401,16 | \$ 13.744.293,67 | \$ 751.959,60 | 5,471% |
| 414110001 | -3,66 | \$ 18.597,52 | \$ 27.617.320,35 | \$ 4.980.664,39 | 18,035% |
| 414175551 | -2,75 | \$ 15.664,09 | \$ 20.441.640,13 | \$ (144.449,04) | -0,707% |
| 414120001 | -5,15 | \$ 18.475,11 | \$ 20.230.247,75 | \$ 4.846.299,03 | 23,956% |
| 324503331 | -0,08 | \$ 36.110,19 | \$ 24.266.045,04 | \$ 2.164.805,66 | 8,921% |
| NH4010001 | -0,34 | \$ 104.324,40 | \$ 17.630.823,85 | \$ 4.429.787,96 | 25,125% |
| 380140001 | -2,75 | \$ 161,37 | \$ 5.680.599,82 | \$ 1.636.665,10 | 28,811% |
| 325643331 | -2,68 | \$ 40.957,55 | \$ 30.595.287,10 | \$ 1.948.350,48 | 6,368% |
| 414130001 | -4,30 | \$ 11.552,79 | \$ 17.814.401,10 | \$ 3.625.169,01 | 20,350% |
| 585920001 | -0,86 | \$ 15.279,89 | \$ 1.466.869,53 | \$ 1.031.214,37 | 70,300% |
| 724200001 | -1,96 | \$ 50.285,33 | \$ 3.972.541,25 | \$ (467.318,35) | -11,764% |
| VA5008881 | -1,83 | \$ 43.984,69 | \$ 14.207.055,06 | \$ 1.060.910,74 | 7,467% |
| 415000001 | -3,34 | \$ 12.263,45 | \$ 6.879.797,59 | \$ 960.105,80 | 13,955% |
| TOTAL | | | \$ 324.648.371,48 | \$ 34.970.972,68 | 10,772% |
| Costo almacenamiento | | | 2% | \$ 35.670.392,14 | 10,987% |

Tabla 24. Ahorros en compras de MP y almacenamiento

En la **Tabla 24** se puede apreciar el valor del ahorro en cuanto a la compra de cantidades de materias primas con base en los pronósticos generados por la metodología ARIMA. Se observa que, una vez se totalizan todos los valores teniendo en cuenta los aumentos y las disminuciones en el MAD, el ahorro potencial corresponde a aproximadamente el 11% del valor del inventario de Materias Primas requerido para dichas referencias.

| Referencia | TS | No. De Ref. de MP | Costo pedido | Costo Total | Valor MP total | % Reducción Costo MP |
|------------------------------|------|-------------------|----------------|------------------------|--------------------------|----------------------|
| 324603331 | 2,33 | 19 | \$ 21.700,00 | \$ 412.300,00 | \$ 54.217.814,59 | 0,760% |
| 19190001 | 1,12 | 1 | \$ 21.700,00 | \$ 21.700,00 | \$ 12.131.111,68 | 0,179% |
| 380183331 | 2,27 | 8 | \$ 21.700,00 | \$ 173.600,00 | \$ 1.423.161,95 | 12,198% |
| 544108881 | 2,63 | 13 | \$ 21.700,00 | \$ 282.100,00 | \$ 28.114.020,99 | 1,003% |
| 591450001 | 3,10 | 23 | \$ 21.700,00 | \$ 499.100,00 | \$ 20.412.550,39 | 2,445% |
| 544300001 | 3,86 | 15 | \$ 21.700,00 | \$ 325.500,00 | \$ 22.642.525,82 | 1,438% |
| 794190001 | 5,05 | 12 | \$ 21.700,00 | \$ 260.400,00 | \$ 28.447.109,78 | 0,915% |
| 584108881 | 2,42 | 15 | \$ 21.700,00 | \$ 325.500,00 | \$ 16.308.703,37 | 1,996% |
| RE4000001 | 3,48 | 29 | \$ 21.700,00 | \$ 629.300,00 | \$ 3.579.243,09 | 17,582% |
| 325653331 | 1,78 | 15 | \$ 21.700,00 | \$ 325.500,00 | \$ 16.776.780,60 | 1,940% |
| 18043331 | 3,48 | 9 | \$ 21.700,00 | \$ 195.300,00 | \$ 17.488.855,71 | 1,117% |
| MA4008881 | 3,42 | 15 | \$ 21.700,00 | \$ 325.500,00 | \$ 12.411.154,00 | 2,623% |
| 435003331 | 3,14 | 17 | \$ 21.700,00 | \$ 368.900,00 | \$ 9.727.828,48 | 3,792% |
| 724208881 | 5,58 | 21 | \$ 21.700,00 | \$ 455.700,00 | \$ 9.507.217,24 | 4,793% |
| 594108881 | 0,03 | 13 | \$ 21.700,00 | \$ 282.100,00 | \$ 3.797.531,60 | 7,429% |
| 935125551 | 1,79 | 24 | \$ 21.700,00 | \$ 520.800,00 | \$ 4.434.467,13 | 11,744% |
| 794200001 | 2,26 | 13 | \$ 21.700,00 | \$ 282.100,00 | \$ 11.293.674,94 | 2,498% |
| Referencias repetidas | | 52 | \$ (21.700,00) | \$ (1.128.400,00) | \$ - | - |
| TOTAL | | | | \$ 4.557.000,00 | \$ 272.713.751,37 | 1,671% |

Tabla 25. Ahorros en costos de abastecimiento

En la **Tabla 25** se puede apreciar un ahorro estimado del **1,7%** sobre el valor del inventario, debido a la realización de pedidos por faltantes de material. Dentro del análisis se tienen en cuenta el número de tipos de materias primas con las que cuenta cada referencia, y el número de tipos de materias primas que son comunes a todas las referencias.

En la **Tabla 26** se muestran los resultados que generaron los ahorros de los costos en materias primas, almacenamiento y abastecimiento si se hubiera trabajado con modelos ARIMA desde enero de 2012. Se comparan los valores de ahorro con respecto al valor de las materias primas para las 35 referencias (6,734%) y con respecto al valor total del valor del inventario de materias primas (0,269%).

| | Materias Primas y Almacenamiento | Abastecimiento | Total Ahorros |
|-------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------------------|
| Ahorros | \$ 35.670.392,14 | \$ 4.557.000,00 | \$ 40.227.392,14 |
| Valor inventario Junio | \$ 324.648.371,48 | \$ 272.713.751,37 | \$ 597.362.122,86 |
| % Ahorro | 10,987% | 1,671% | 6,734% |
| Inventario total | \$ 14.947.332.636,00 | | 0,269% |

Tabla 26. Consolidado de ahorros

2. Programación de la producción

El otro frente donde se realizó una propuesta de mejora fue en el del proceso de programación de la producción en las líneas de ensamble de la empresa. Debido a que este proceso juega un papel fundamental en el nivel de facturación de la empresa y el nivel de satisfacción de sus clientes, se decidió generar el siguiente indicador para medir el impacto del modelo:

$$\% \text{ variación en la facturación diaria} = \left(\frac{\text{Facturación con modelo}}{\text{Facturación anterior}} - 1 \right) \times 100$$

Teniendo en cuenta que el modelo de programación de la producción de las líneas de ensamble de la mini-fábrica de Duchas se aproximó al modelo de Minimización de la Tardanza Total Ponderada para una máquina, y el conjunto solución de este modelo es una secuencia de ensamble, el impacto generado debe ser medido en un periodo determinado. Para este caso se decidió realizar el análisis de facturación diario comparando el modelo propuesto con el modelo actual, y consolidarlo semanalmente.

De la secuencia obtenida se calcularon los siguientes datos, que también se presentan en el Capítulo IV.

| | Facturación según experiencia de jefes de la mini-fábrica | Facturación según modelo de Minimización de Tardanza Total Ponderada a través de GRASP | % Variación |
|------------------|---|--|---------------|
| Lunes | \$ 40,288,103.74 | \$ 62,306,025.41 | 54.65% |
| Martes | \$ 56,545,497.95 | \$ 48,269,263.88 | -14.64% |
| Miércoles | \$ 46,124,399.59 | \$ 53,148,846.53 | 15.23% |
| Jueves | \$ 33,741,552.87 | \$ 53,858,250.81 | 59.62% |
| Viernes | \$ 11,855,778.09 | \$ 43,979,243.89 | 270.95% |
| Sábado | \$ 71,245,074.55 | \$ 26,096,665.81 | -63.37% |
| Domingo | \$ 21,187,811.74 | \$ 53,436,296.99 | 152.20% |
| TOTAL | \$ 280,988,218.52 | \$ 341,094,593.31 | 21.39% |

Tabla 27. Impacto económico obtenido por el nuevo sistema de programación de la producción

Partiendo del hecho que la facturación va a ser la misma independientemente de la secuencia a la que se llegue, el impacto económico no se puede realizar con base en un incremento de la facturación, o la reducción en los costos de la realización de la programación de la producción. Al observar que a través del modelo se incrementa la velocidad de facturación de la empresa, es decir, se factura una mayor cantidad de dinero en el mismo periodo de tiempo, el análisis pertinente para este caso es el del costo de oportunidad de la empresa. Para el caso analizado se presento un incremento en la facturación del **21%** aproximadamente.

Por medio del análisis del costo de oportunidad se desea mostrar el dinero que la empresa está dejando de recibir por no contar con una herramienta para realizar la programación de su

producción. Anteriormente se había definido el costo de oportunidad de la empresa al calcular el costo de almacenamiento del inventario.

El costo de oportunidad se determinó a partir del costo financiero que maneja la empresa, y que para el segundo trimestre de 2012 correspondía al **3,47%** (rendimiento de un CDT en el banco Helm a 90 días). Debido a que el costo de oportunidad de la empresa está dado en un periodo trimestral, pero el análisis del incremento en la facturación esta realizado en un término semanal, se debe realizar la conversión de tasas a un periodo semanal de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}(1 + i_{Trimestral}) &= (1 + i_{Semanal})^{12} \\ (1 + 0.0347) &= (1 + i_{Semanal})^{12} \\ i_{Semanal} &= 0.2847\% \approx 0.29\%\end{aligned}$$

Como un periodo trimestral cuenta con 12 semanas, se tiene que la tasa de oportunidad semanal es del **0.29%** del incremento de la facturación de la línea de ensamble.

La **Tabla 28** muestra el valor del costo de oportunidad de la línea de ensamble de Duchas y Regaderas Sencillas en la semana del 15 al 21 de Octubre de 2012, según el incremento en la facturación y la tasa de oportunidad.

| | Facturación según experiencia de jefes de la mini-fábrica | Facturación según modelo de Minimización de Tardanza Total Ponderada a través de GRASP | Diferencia | Costo de oportunidad semanal |
|------------------------|---|--|------------------|------------------------------|
| Tasa oportunidad 0,29% | \$ 280.988.218,52 | \$ 341.094.593,31 | \$ 60.106.374,79 | \$ 17.430,85 |

Tabla 28. Costo de oportunidad semanal con facturación propuesta

Dado que la ejecución del modelo solo se llevó a cabo para la línea de ensamble “Duchas y Regaderas Sencillas” de la mini-fábrica de Duchas Mezcladoras, se debe estimar el costo de oportunidad generado por el modelo para las demás líneas de ensamble de la mini-fábrica de Duchas y para el resto de las mini-fábricas. Para esto se tomaron los promedios semanales de facturación a Junio de 2012, que se observan en la **Tabla 29**.

| Mini-fábricas | Facturación 2012 (Enero a Junio) | Promedio Facturación semanal |
|-----------------|----------------------------------|------------------------------|
| DUCHAS MEZCLAD | \$ 22.956.388.886,42 | \$ 882.938.034,09 |
| LAVAPLATOS | \$ 15.766.650.043,05 | \$ 606.409.617,04 |
| MEZC. LAV. 4P | \$ 4.599.592.127,40 | \$ 176.907.389,52 |
| MEZC. LAV. 8P | \$ 7.678.156.110,41 | \$ 295.313.696,55 |
| MUEBLE PLASTICO | \$ 28.908.059.652,90 | \$ 1.111.848.448,19 |
| GRIF. TQ ATLANT | \$ 24.590.272.293,29 | \$ 945.779.703,59 |
| GRIF. TQ ATLAS | \$ 14.031.090.927,86 | \$ 539.657.343,38 |

| | | |
|---|----------------------|----------------------------|
| ACC | \$ 7.780.368.801,52 | \$ 299.244.953,90 |
| OTROS | \$ 8.192.450.995,25 | \$ 315.094.269,05 |
| OUTSOURCING | \$ 8.723.592.223,81 | \$ 335.522.777,84 |
| LINEA METAL | \$ 8.399.987.119,37 | \$ 323.076.427,67 |
| LL. IND. D. SF. | \$ 10.084.200.854,80 | \$ 387.853.879,03 |
| TORRES | \$ 657.871.092,65 | \$ 25.302.734,33 |
| TOTAL | | \$ 6.244.949.274,18 |
| % incremento facturación semanal | | 21,39% |
| Total facturación con modelo propuesto | | \$ 7.580.743.923,93 |
| Diferencia en la facturación | | \$ 1.335.794.649,75 |
| Costo de oportunidad (Tasa=0,29%) | | \$ 3.873.804,48 |

Tabla 29. Costo de oportunidad estimado de todas las mini-fábricas de Grifería y Complementos Corona

En la **Tabla 29** se observa un costo de oportunidad semanal de aproximadamente **\$3.873.800** pesos, lo que indica que el modelo generaría un impacto significativo a nivel financiero en la empresa.

3. Evaluación económica conjunta de la propuesta

Para aproximar el impacto total que tiene la mejora en la generación de pronósticos en la empresa Grifería y Complementos Corona, se debe tener en cuenta que la empresa cuenta con inventarios de seguridad para evitar que se tengan que realizar pedidos por fuera de las fechas establecidas, y que el faltante de pedido de alguna materia prima en alguna referencia puede verse compensado por el exceso de pedido del mismo material para otra referencia.

Por otro lado, el costo de oportunidad calculado a partir del nuevo sistema de programación de la producción no genera ingresos extra por concepto de facturación. Lo que se evalúa mediante esta metodología es estimar el costo de oportunidad de generar una mayor facturación en un mismo periodo de tiempo, y cuanto está dejando de recibir la empresa al no utilizar una herramienta robusta para la programación de la producción.

Teniendo en cuenta que las 35 referencias sobre las cuales se realizó en análisis corresponden al 1,22% del total de las referencias, y que el valor del inventario que estas representan corresponde al 3,99% del total del inventario, se plantearon tres escenarios a partir del porcentaje de ahorro potencial gracias a la implementación de Modelos ARIMA en el proceso de generación de pronósticos. Los resultados se presentan en la **Tabla 30**.

| | Optimista | Normal | Pesimista |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Inventario Promedio | \$ 14.947.332.636,00 | \$ 14.947.332.636,00 | \$ 14.947.332.636,00 |
| % Reducción costos | 0,80% | 0,50% | 0,20% |
| Ahorro total | \$ 119.578.661,09 | \$ 74.736.663,18 | \$ 29.894.665,27 |

Tabla 30. Ahorros estimados según escenarios optimista, normal y pesimista

Asimismo se planteó el impacto del modelo de programación de la producción para 3 escenarios diferentes, de acuerdo con el porcentaje de incremento de la facturación semanal, como se muestra en la **Tabla 31**.

| | % Incremento Facturación | Facturación promedio semanal | Incremento Facturación semanal | Costo de oportunidad semanal | Costo de oportunidad mensual |
|----------------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Escenario Optimista | 21% | \$ 6.244.949.274,18 | \$ 1.311.439.347,58 | \$ 3.803.174,11 | \$ 15.212.696,43 |
| Escenario Normal | 15% | \$ 6.244.949.274,18 | \$ 936.742.391,13 | \$ 2.716.552,93 | \$ 10.866.211,74 |
| Escenario Pesimista | 9% | \$ 6.244.949.274,18 | \$ 562.045.434,68 | \$ 1.629.931,76 | \$ 6.519.727,04 |

Tabla 31. Costos de oportunidad estimados según escenarios optimista, normal y pesimista

La **Tabla 29** muestra el beneficio estimado según cada escenario, si la propuesta de la generación de pronósticos a través de la metodología ARIMA se llegara a replicar en todas las líneas de la empresa, y la **Tabla 31** muestra el costo de oportunidad estimado según cada escenario, si la propuesta de la programación de la producción se llegara a replicar en todas las mini-fábricas de la empresa.

Dado que la herramienta propuesta para la generación de los pronósticos solamente se planteó para realizar el análisis de 35 referencias, se debe conseguir un programa que tenga en cuenta el uso de modelos autorregresivos y no autorregresivos para la generación de pronósticos, y que sea compatible con los programas que maneja la empresa actualmente. Adicionalmente el programa debe integrar la mejora en el proceso de programación de la producción, que si bien genera mejoras a nivel de indicadores de velocidad de facturación a nivel operativo y costos de oportunidad, debe ser tenida en cuenta dentro del proceso de planeación de la producción como un conjunto.

3.1. Software

Se propone la implementación del sistema de planeación de la cadena de suministros Oracle® (*Supply Chain Planning*⁷⁹). Este sistema cuenta con varios módulos que abarcan procesos desde la planeación efectiva de la demanda, hasta el manejo efectivo de inventarios y programación de la producción, todo enmarcado dentro de la planeación colaborativa.

- **Módulo DEMANTRA:** Cuenta con 36 modelos estadísticos para ajustar la demanda, en donde se encuentran incluidos modelos autorregresivos y no autorregresivos.
- **Módulo de programación de la producción:** Cuenta con modelos de programación de la producción que se ajustan a las modalidades de producción de las empresas.

⁷⁹ Tomado de < <http://www.oracle.com/us/solutions/scm/index.html>>

3.2. Evaluación financiera

A continuación se presentan los requerimientos para realizar la implementación del sistema dentro de la empresa:

| Inversión en Software | | | | |
|---|------------------------|---|------------------------|---|
| Módulos | Dólares | | Pesos Colombianos | |
| | Costo licencia | Actualización de software y Soporte técnico | Costo licencia | Actualización de software y Soporte técnico |
| Planeación avanzada de la cadena de suministros | 1800 | 396 | \$ 3.237.156,00 | \$ 712.174,32 |
| Optimización basada en restricciones | 435 | 95,7 | \$ 782.312,70 | \$ 172.108,79 |
| Planeación rápida | 1800 | 396 | \$ 3.237.156,00 | \$ 712.174,32 |
| Optimización de inventarios | 870 | 191,4 | \$ 1.564.625,40 | \$ 344.217,59 |
| Promesas de órdenes globales | 350 | 77 | \$ 629.447,00 | \$ 138.478,34 |
| Planeación colaborativa | 580 | 127,6 | \$ 1.043.083,60 | \$ 229.478,39 |
| Centro de comando de planeación avanzada | 1200 | 264 | \$ 2.158.104,00 | \$ 474.782,88 |
| Planeación de piezas de servicio | 2000 | 440 | \$ 3.596.840,00 | \$ 791.304,80 |
| Optimización de redes estratégicas | 1400 | 308 | \$ 2.517.788,00 | \$ 553.913,36 |
| Programación de la producción | 1210 | 266,2 | \$ 2.176.088,20 | \$ 478.739,40 |
| Optimización de manufactura repetitiva | 390 | 85,8 | \$ 701.383,80 | \$ 154.304,44 |
| Administración de la demanda Demantra | 1800 | 396 | \$ 3.237.156,00 | \$ 712.174,32 |
| Pronósticos y modelado de demanda avanzado | 870 | 191,4 | \$ 1.564.625,40 | \$ 344.217,59 |
| Ventas en tiempo real y planeación de las operaciones | 1200 | 264 | \$ 2.158.104,00 | \$ 474.782,88 |
| Planeación predictiva de comercio | 1800 | 396 | \$ 3.237.156,00 | \$ 712.174,32 |
| Administración de asentamientos | 870 | 191,4 | \$ 1.564.625,40 | \$ 344.217,59 |
| Optimización del comercio | 870 | 191,4 | \$ 1.564.625,40 | \$ 344.217,59 |
| Señales de la demanda | 2900 | 638 | \$ 5.215.418,00 | \$ 1.147.391,96 |
| | Total Inversión | 27.260,90 | Total Inversión | \$ 49.026.547,78⁸¹ |

Tabla 32. Inversión en Software

⁸⁰ TRM del día 18 de Octubre de 2012, tomada de <www.eltiempo.com>

⁸¹ Consultado en < <http://www.oracle.com/us/corporate/pricing/applications-price-list-070574.pdf>>

| Inversión en servicios complementarios | | | |
|--|-----------------|-----------------------|--------------------------|
| Concepto | Unidades | Valor unitario | Valor total |
| Equipos Dell Precision M4700 | 10 | \$ 3.956.524,00 | \$ 39.565.240,00 |
| Infraestructura y capacitación | 1 | \$ 50.000.000,00 | \$ 50.000.000,00 |
| Diplomado en Estadística Aplicada Universidad Javeriana | 4 | \$ 3.600.000,00 | \$ 14.400.000,00 |
| Diplomado en Gerencia de Producción Universidad Javeriana | 13 | \$ 3.600.000,00 | \$ 46.800.000,00 |
| TOTAL INVERSIÓN | | | \$ 150.765.240,00 |

Tabla 33. Inversión en Servicios Complementarios

En las **Tablas 32** y **33** se observa que la inversión total que se debe realizar es de **\$199.791.787,78**. Teniendo en cuenta los valores de ahorro proyectados, se realizó la evaluación financiera del proyecto para los 3 escenarios, como se observa en la **Tabla 34**.

| | Escenarios | | |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Optimista | Normal | Pesimista |
| Inversión | \$ 199.791.787,78 | \$ 199.791.787,78 | \$ 199.791.787,78 |
| Ahorros Pronósticos | \$ 119.578.661,09 | \$ 74.736.663,18 | \$ 29.894.665,27 |
| Costo de oportunidad programación | \$ 15.212.696,43 | \$ 10.866.211,74 | \$ 6.519.727,04 |
| Total ingresos | \$ 134.791.357,52 | \$ 85.602.874,92 | \$ 36.414.392,31 |
| Rentabilidad mensual | 67,47% | 42,85% | 18,23% |
| Periodo de pago (meses) | 1,482229955 | 2,333937826 | 5,486616008 |

Tabla 34. Evaluación del proyecto para los tres escenarios

Como se puede observar en la **Tabla 34**, el proyecto es viable y se podría pagar en un periodo de 2 a 6 meses, según los resultados que se obtengan al momento de la implementación del sistema. Se planteó un proyecto con rentabilidades que oscilan entre el 18% y el 67%, y quedó demostrada la importancia y el impacto que pueden llegar a tener los procesos de generación de pronósticos y programación de la producción dentro de las empresas, dado que gracias a sus resultados es posible realizar un cambio de Software e infraestructura que más adelante podría apoyar diversas áreas y aportar en los procesos de mejora continua de la empresa.

En esta evaluación no solamente se tuvo en cuenta la capacitación en el manejo del software, sino que también se tuvo en cuenta el desarrollo integral de la persona mediante diplomados en temas de análisis estadístico aplicado y administración de la producción, para que la persona que realiza esta gestión no se limite solamente a ejecutar el sistema, sino que pueda aportar constantemente a la mejora de los procesos.

CONCLUSIONES

- Se realizó un modelo de generación de pronósticos para 35 de las referencias más representativas de la línea de negocio de Baños a través de la metodología ARIMA, en donde se logró demostrar un ahorro en costos del 6,74% mensual sobre el valor total de las materias primas de las 35 referencias, equivalente a un ahorro del 0,269% mensual frente al inventario total. Estos ahorros se calcularon a partir de la aplicación del modelo ARIMA a los datos correspondientes de los meses de Enero a Junio de 2012.
- A partir de la implementación de la metodología ARIMA en las 35 referencias de la línea de negocio de Baños, se logró generar una disminución del MAD en el 91% de las referencias tratadas, en donde la mayor reducción fue del 89,99% con respecto al MAD anterior.
- A partir de la implementación de la metodología ARIMA en las 35 referencias de la línea de negocio de Baños, se logró generar una mejora de la TS en el 48,5% de las referencias tratadas, garantizando que el 85% de las mismas se encuentran dentro de los valores establecidos frente al 63,6% que se garantizaba anteriormente.
- Se observó que el tamaño de muestra de $n = 34$ se ajustó para aproximadamente el 95% de las referencias. Esto se debió a que 2 de éstas no contaban con el número necesario de datos históricos dado que fueron lanzamientos realizados en Diciembre de 2011, y por ende, solo contaban con 7 periodos históricos.
- A través de la implementación del modelo de generación de pronósticos por medio de la metodología ARIMA se logró reducir el problema de la autocorrelación para las series de tiempo en la empresa Grifería y Complementos Corona. Esta reducción se ve evidenciada en el Anexo 2, en las gráficas de autocorrelaciones simples y parciales.
- Se realizó la implementación de una metodología de generación de pronósticos robusta a partir del análisis gráfico y estadístico del modelo de una forma fácil y didáctica. Adicionalmente se creó un tutorial para el uso de la herramienta propuesta “Generador de Pronósticos”.
- A partir de la propuesta para reforzar el ciclo colaborativo, que consistió en dejar la herramienta “Generador de Pronósticos” en una carpeta compartida, se espera mejorar la comunicación entre las 2 áreas encargadas de la administración de la demanda. De esta forma se generan relaciones sinérgicas que garantizan alta eficiencia operacional y un mejor estimado de la demanda.
- Se generó una propuesta de políticas para el modelo de generación de pronósticos basado en la metodología ARIMA, que tiene en cuenta el cambio del modelo y la revisión del mismo basándose en los indicadores de los errores de los pronósticos (MAD y TS).
- Gracias a la metodología de ensamble excluyente de las líneas de la mini-fábrica de Duchas, se logró realizar la aproximación de dichas líneas a un modelo de minimización de la tardanza total ponderada para una máquina. Se utilizó la metaheurística de GRASP en la solución del problema y generación de la secuencia óptima de ensamble, demostrando su

facilidad de implementación y efectividad. A través de la implementación del modelo, medido con el indicador de porcentaje de variación de la facturación diaria y semanal, se logró incrementar el nivel de facturación semanal en un 21% en la línea de Duchas y Regaderas Sencillas, teniendo en cuenta la programación para un periodo semanal.

- Al implementar el modelo de programación de la producción por medio de la metaheurística de GRASP, se logró incrementar la velocidad de facturación semanal de la línea de ensamble de Duchas y Regaderas Sencillas en un 21%. Debido a que la facturación total es independiente de la secuencia de ensamble, se realizó la evaluación económica con el costo de oportunidad de secuenciar las órdenes por antigüedad. Se demostraron costos de oportunidad de aproximadamente \$70.000 pesos mensuales para la línea de ensamble de Duchas y Regaderas Sencillas, y de aproximadamente \$540.000 pesos mensuales para la línea de ensamble de Duchas Mezcladoras, teniendo en cuenta el incremento del nivel de facturación semanal estimado.
- Se realizó una modificación al parámetro de la RCL (*Restricted Candidate List*) en la fase de construcción inicial de la solución factible, ampliando la búsqueda local y alcanzando un óptimo local con un menor número de iteraciones. Esto se vio evidenciado en el cálculo de la secuencia óptima y el valor de la función objetivo, en donde gracias a la modificación de la RCL y la efectividad de la función incremental, se logró llegar a una solución razonable en un tiempo aproximado de 2 minutos.
- La función objetivo del modelo de minimización de la tardanza total ponderada tiene en cuenta la tardanza con la que se está realizando un trabajo y su peso respectivo. Esto permite asignar el peso de cada trabajo según los requerimientos de la empresa. Se propuso asignar el peso de cada trabajo como la multiplicación entre el valor de la orden y la prioridad del cliente, logrando integrar dentro del modelo las 3 variables críticas que maneja la empresa para garantizar la satisfacción de los clientes: Fechas de entrega, valor de pedido e importancia del cliente.
- Se determinaron políticas de capacitación en ambos frentes de trabajo, tanto en el tema de generación de pronósticos con el diplomado en Estadística Aplicada, como en el tema de programación de la producción con el diplomado en Gerencia de Producción, para garantizar procesos de mejora continua que tengan en cuenta el desarrollo del personal.
- Se realizó una evaluación económica de las propuestas de forma conjunta, totalizando los ahorros estimados de costos en el proceso de generación de pronósticos y costos de oportunidad de la programación de la producción en tres escenarios diferentes. Los costos se calcularon para todas las mini-fábricas basándose en los ahorros estimados, generando rentabilidades de entre el 18% y el 67% mensual, aproximadamente. A través de esta evaluación económica se determinó que es viable realizar la implementación de un proyecto de mejora en el proceso de planeación de la cadena de suministros, soportado por el módulo de *Supply Chain Planning* de Oracle. La inversión del cambio de sistema propuesto se pagaría en un periodo de entre 2 a 6 meses, dependiendo del desempeño del modelo.

- A través del trabajo queda evidenciado que la aplicación de modelos cuantitativos en las empresas funciona de forma eficiente. Como Ingenieros Industriales debemos apoyarnos en herramientas cuantitativas que permitan soportar la toma de decisiones a partir de la generación de datos confiables. Se deja claro a lo largo del trabajo que se pueden construir modelos teóricos robustos, y hacerlos ver y funcionar de forma fácil para el personal de una empresa. Esto se logra basándose en el buen entendimiento y fácil presentación de los modelos, y la implementación de ciclos colaborativos, como las que se propusieron en este trabajo. Así mismo, las herramientas desarrolladas como propuesta de mejora fueron realizadas en Excel, según los requerimientos de la empresa.
- En el Capítulo V se puede observar que, según la evaluación financiera correspondiente a los tres escenarios planteados, la propuesta de implementación de un nuevo sistema de planeación de la cadena de suministros con el módulo de Oracle es totalmente viable. Se debe tener en cuenta que no solamente basta con el cambio de sistema, sino que se debe ir más lejos para garantizar el éxito de la propuesta de mejora. El desarrollo de la persona junto con la integración de los procesos dentro del ciclo colaborativo de la empresa son factores claves en el éxito de la implementación de cualquier propuesta de mejora.

RECOMENDACIONES

- A través de la evaluación del impacto generado por la propuesta de mejora en los procesos de generación de pronósticos y programación de la producción, quedo demostrada la viabilidad y eficiencia de los modelos cuantitativos como soporte para el análisis de la información y la reducción en costos. Es de vital importancia que se le de continuidad al proyecto, contando con el compromiso de la empresa en temas de capacitación y participación en el ciclo colaborativo.
- Las herramientas propuestas en este trabajo podrían ser extendidas a todas las mini-fábricas y líneas de negocio a través de las políticas de implementación y uso de las mismas, pero debido al gran volumen de referencias e información que se maneja en la compañía, las herramientas se volverían operacionalmente ineficientes. Para garantizar el impacto total que puede llegar a tener el proyecto, se recomienda a la empresa la implementación del módulo *Supply Chain Planning* de Oracle para la planeación de la producción, que cuenta con herramientas para la generación de pronósticos y programación de la producción.
- Se recomienda revisar la metodología de generación de pronósticos en la mini-fábrica de Asientos y Herrajes, debido a que esta mini-fábrica es una de las que presenta los mayores valores del MAD. El análisis se podría realizar con base en la herramienta propuesta para la línea de Baños, mientras que se realiza la compra e implementación del sistema de planeación de la cadena de suministros de Oracle.
- La herramienta de la programación de la producción ayuda a construir secuencias óptimas de ensamble, pero no garantiza una mayor capacidad de producción. Como se mencionó en el Capítulo II, el problema de la empresa no es de demanda sino de capacidad. La empresa debería realizar modificaciones en su proceso productivo para incrementar la capacidad instalada, y de esta forma cumplir con los requerimientos de los clientes.
- Se recomienda a la empresa mejorar el sistema de post-optimización en la herramienta propuesta para garantizar mejores secuencias de ensamble. La herramienta propuesta fue basada en un algoritmo de fácil implementación y búsqueda local, generando buenos resultados en tiempos razonables, pero es una herramienta susceptible de mejora. A través de las capacitaciones al personal de la empresa, se deberá determinar si el mejor modelo de programación es el ajuste de las líneas de ensamble a modelos de una sola máquina, o se puede plantear otro modelo diferente que integre todas las líneas de ensamble (Ej. Job Shop).

BIBLIOGRAFÍA

- ADENSO, Belarmino, GARCIA, Santiago y LOZANO, Sebastián. An efficient GRASP algorithm for disassembly sequence planning. Springer – Verlag, España: 2006
- AGUILAR, José. Nuevas tendencias en la gestión del cambio. Revista Empresa y Humanismo. Barcelona: 2003.
- ALEX, Renata M., et al. GRASP with Path Relinking for three-index assignment. Journal on computing, INFORMS: 2005.
- ALVARADO, Jorge A. y OBAGI, Juan J. Fundamentos de inferencia estadística. 1 ed. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2008. 360 p.
- ARMANDO, A. Jaime. Introducción al tratamiento de series temporales. 2 Ed. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 1994. 579 p.
- BEAUSOLEIL, Ricardo P. Intensification and diversification strategies with Tabu Search: One machine problem with weighted tardiness problem. SpringerLink, 2000.
- BRUCKER, Peter. Scheduling Algorithms. 5 Ed. New York: Springer, 2006. p 41
- CABALLERO V., Juan Pablo y ALVARADO, V. Jorge Andrés. Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP), una alternativa valiosa en la minimización de la tardanza total ponderada en una maquina. Ingeniería y Universidad, Vol 14, 2010.
- CAMACOL. Construcción en cifras. <En línea>. Consultado el 12 de Agosto de 2012. Disponible en <<http://camacol.co/informacion-economica/cifras-sectoriales/construccion-en-cifras>>.
- CHASE, Richard B.; JACOBS, F. Robert y AQUILANO, Nicholas. Administración de operaciones: producción y cadena de suministros. 12 Ed. México: McGraw Hill, 2009. 776 p
- CHUA T.J., et al. A heuristics-based advanced planning and scheduling system with bottleneck scheduling algorithm. IEEE, 2006.
- CONGRAM, Richard, POTTS, Chris y VAN DE VELDE, Steef. An iterated dynasearch algorithm for the single-machine total weighted tardiness scheduling problem. INFORMS, Journal on computing. Vol 14, No. 1, 2002.
- DANE. Indicadores económicos alrededor de la construcción - I trimestre de 2012. <En línea>. Consultado el 12 de Agosto de 2012. Disponible en <http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/cp_ieac__ltrim12.pdf>.
- DAVOUDPOUR, Hamid y ASHRAFI, Maryam. Solving multi-objective SDST flexible flowshop using GRASP algorithm. Springer-Verlag, London: 2008.
- EL HAG, Huda, y SHARIF, Sami M. An adjusted ARIMA model for internet traffic. IEEE, 2007.
- GALLARDO, Rodrigo. Minimización de la tardanza total en una máquina con tiempos de preparación dependientes de la secuencia mediante modelos de programación lineal entera mixta. Universidad del Bío-Bío, Chile: 2011.
- GROBLER, J. y ENGELBRECHT, A. P. A scheduling-specific modeling approach for real world scheduling. IEEE, 2007.

- GRUPO CORONA. <En línea>. Consultado el 11 de Agosto de 2011. Disponible en <<http://www.corona.com.co/2010/grival/pages/nuestra-compania>>
- GUOHONG, Meijuan y BINQING, Zhibing. Combination forecasting models based on drift. IEEE, 2009.
- HANKE, Jhon E. y WICHERN, Dean W. Pronósticos en los negocios. 8 Ed. México: Prentice Hall, 2006. 535p.
- HILLIER, Frederick S. y LIEBERMAN, Gerald J. Investigación de operaciones. 7ª Ed. México: McGraw Hill, 2002. 780 p
- HOPP, Wallace J. y SPEARMAN, Mark L. Factory Physics, Foundations of Manufacturing Management. 2 ed. New York: McGraw-Hill, 2001. 698 p.
- HWAN KIM, Gyoung y LEE, George. Genetic reinforcement learning approach to the heterogeneous machine scheduling problem. IEEE, 1998.
- JI, Guo-Rui, HAN, Pu y ZHAI, Yong-Jie. Wind speed forecasting based on support vector machine with forecasting error estimation. IEEE, 2007.
- KEMPF, Karl G., KESKINOCAK, Pinar y UZSOY, Reha. Planning production and inventories in the extended enterprise, V1. 1a Ed. New York: Springer, 2011. 663 p.
- LAUDON, Kenneth C. y LAUDON, Jane P. Sistemas de información gerencial. 10 ed. México: Prentice Hall, 2008. 736 p.
- LOPEZ CABARCOS, Ma. Ángeles y GRANDIO DOPICO, Antonio. Capital Humano como fuente de ventajas competitivas. España: Netbiblo, 2005. P 75.
- LOPEZ DE PABLO, David A. On scheduling models: An overview. IEEE, 2009.
- MAHESWARAN, R. y PONNAMBALAM, S.G. An investigation on single machine total weighted tardiness scheduling problems. Springer – Verlag, London: 2003.
- MAHESWARAN, R. y PONNAMBALAM, S.G. An intensive search evolutionary algorithm for single-machine total-weighted-tardiness scheduling problems. Springer – Verlag, London: 2004.
- MAHESWARAN, R. PONNAMBALAM, S.G., y ARAVINDAN, C. A meta-heuristic approach to single machine scheduling problems. Springer – Verlag, London: 2004.
- MCGARRY, Michael, et al. Just in time scheduling for multichannel EPSONs. IEEE, 2008.
- NIEBEL, Benjamin Willard. Ingeniería industrial métodos, estándares y diseño del trabajo. 11 ed. México: Alfaomega, 2004. 745 p.
- PANNEERSELVAM, R. Simple heuristic to minimize total tardiness in a single machine scheduling problem. Springer – Verlag, London: 2005.
- PARREÑO, F. et al. A hybrid GRASP/VND algorithm for two – and three – dimensional Bin Packing. Springer Science + Business Media, LLC: 2008.
- PINEDA, Luis. Métodos y modelos econométricos. 1 Ed. México: Editorial Limusa, 1999. p 38
- PINEDO, Michael. Scheduling: Theory, algorithms and systems. 2 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 586 p.
- Pochet, Yves y WOLSEY, Laurence A. Production planning by mixed integer programming. 1 ed. New York: Springer, 2007. 499 p.

- PRABHAHARAN G., SHAHUL, B. y RAKESH L. Implementation of GRASP in flow shop scheduling. Springer-Verlag, London: 2005.
- PROUD, John F. Master Scheduling: A practical guide to competitive manufacturing. 3 Ed. New Jersey: Wiley, 2007. 657 p.
- PTAK, Carol A., *et al.* Orlicky's Material Requirements Planning. 3 ed. USA: McGraw Hill, 2011. p 488.
- RAMIREZ, María Catalina, *et. al.* Participative Methodology for Local Development. Springer: Science+ Business Media: 2010. 22 p.0
- RINNOOY KAN, A., LAGEWEG, B. y LENSTRA, J. Minimizing total costs in one-machine scheduling. Operations research, 1975, vol 23.
- ROJANASOONTHON, Siwate y BARD, Jonathan. A GRASP for parallel machine scheduling with time windows. Journal on computing, INFORMS: 2005.
- SEN, Tapan; SULEK, Joanne M. y DILEEPAN, Parthasarati. Static scheduling research to minimize weighted and unweighted tardiness: A state-of-the-art survey. International journal of production economics, 2003.
- SRINIVASA N. R., VENKATARAMANAN M. Parallel processor scheduling for minimizing total weighted tardiness using ant colony optimization. Springer – Verlag, London: 2008.
- VALDEZ, Cecilia. Trabajo en equipo. ¿Cuál es la clave para lograr equipos funcionales? Folletos gerenciales.
- VAN HORNE, James C. y WACHOWICZ, John M. Fundamentos de administración financiera. 11 Ed. Mexico: Person educación, 2002. 749 p.
- VEGA MEJIA, C.A. Y CABALLERO VILLALOBOS, J.P. Uso combinado de GRASP y Path Relinking en la programación de la producción para minimizar la tardanza total ponderada en una maquina. Ingeniería y Universidad, vol. 14, 2010. P 79-96.
- WANG, Weiqiang y GUO, Ying. Air pollution PM2.5 data analysis in Los Angeles long beach with seasonal ARIMA model. IEEE, 2009.
- WINSTON, Wayne L. Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos. 4 ed. Mexico: Thomson, 2005. 1418 p.
- YOU-XIN, Meng, JIE, Zhang y ZHUO, Chen. An overview of ant colony optimization algorithm and its application on production scheduling. IEEE, 2009.

ANEXOS

Anexo 1. Datos históricos (CD)

Anexo 2. Análisis ARIMA por referencia (CD)

Anexo 3. Tutorial de la herramienta “Generador de pronósticos ARIMA”

El siguiente tutorial se desarrolló para realizar la implementación de la propuesta de mejora al proceso de generación de pronósticos en la empresa Grifería y Complementos Corona. Basándose en la metodología ARIMA, se realizó un programa que facilite la generación de pronósticos de forma dinámica y didáctica bajo un modelo robusto, pero de fácil aplicación. La herramienta, al estar ubicada en la red, podrá ser accedida por los departamentos de administración de la demanda y el departamento comercial, facilitando la integración de estos y eliminando el proceso de consolidación de la información.

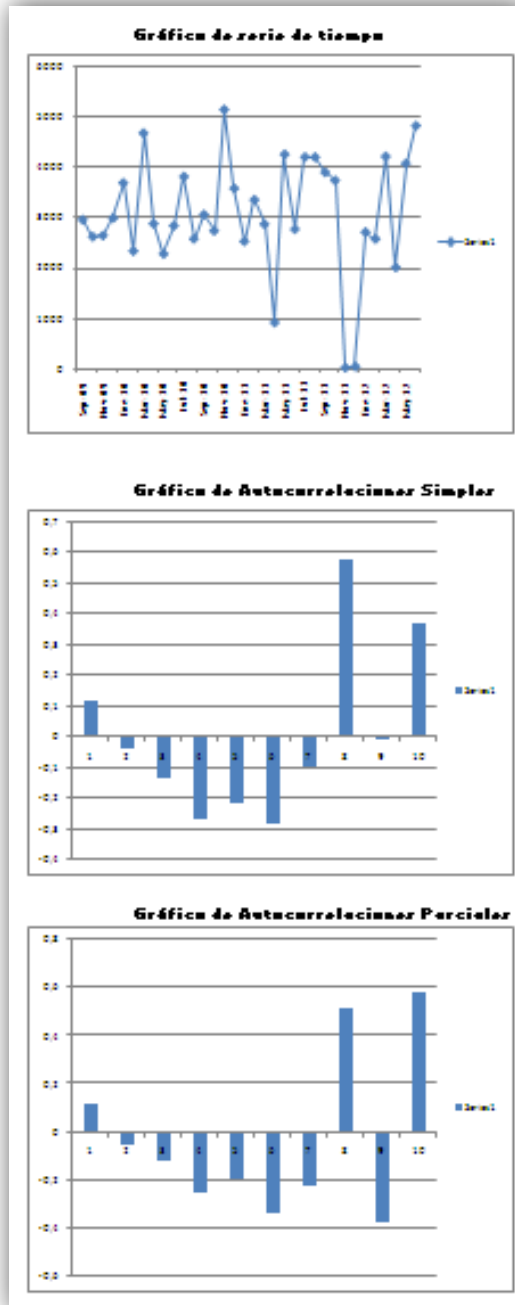
Paso 1. Selección de referencia

De la siguiente lista desplegable, elegir la referencia para la cual desea realizar el pronóstico.

| GENERADOR DE PRONÓSTICOS | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------|---------------------------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| corona | | | | | | | | | | |
| Favor seleccionar una referencia → | | | RECIO SIN IVA | Sep-09 | Oct-09 | Nov-09 | Dic-09 | Ene-10 | Feb-10 | Mar-10 |
| | | Subcj_Lvp_Monoc_Vera_constructor | | | | | | | | |
| | | Pqte_Subcj_Mezcl_Lvp_Dalia_Cla_4P_X_4 | | | | | | | | |
| | | Ducha_SSB_Plnca_Vera_constructor | | | | | | | | |
| | | Ducha_mezc_SSB_Plnca_Novo | | | | | | | | |
| 324603331 | DUCHAS MEZCLAD | Subcj_Lvp_Monoc_Vera_constructor | \$ 66.679,07 | 2960 | 2623 | 2647 | 2995 | 3694 | 2336 | 4684 |
| 19190001 | MEZC. LAV. 8P | Ducha_SSB_Cora_constructor | \$ 3.166,38 | 31400 | 40000 | 62200 | 12800 | 15800 | 47000 | 43500 |
| 591360001 | MEZC. LAV. 4P | Cj_Lvp_8P_Cta_Balta_Pico_Prakti | | | | | | | | |
| 415165551 | LAVAPLATOS | Cnlla_4Plg_Sfon_P_Griflx_x2_M16_CP2 | \$ 44.118,98 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68 |
| 545050001 | LAVAPLATOS | Ducha_Monoc_SSB_Praga | | | | | | | | |
| 324403331 | DUCHAS MEZCLAD | Subcj_Lvp_8P_Athenea_Pico_Higt_Arc | \$ 46.410,10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 380183331 | MEZC. LAV. 8P | Subcj_Mezcl_Lvp_Piscis_Pico_Cisne | \$ 28.335,94 | 0 | 0 | 215 | 200 | 417 | 678 | 916 |
| 734010001 | DUCHAS MEZCLAD | Pqte_Registro_Briza_x6 | \$ 87.356,82 | 1015 | 751 | 744 | 630 | 968 | 747 | 757 |
| 544108881 | DUCHAS MEZCLAD | Pqte_Griflex_Lvm_x_12 | \$ 21.416,91 | 3208 | 5186 | 3895 | 6721 | 2965 | 3260 | 3317 |
| 414110001 | DUCHAS MEZCLAD | C_Ducha_Electrica_110v_Lanni | \$ 34.396,55 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 414175551 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha_SSB_8P_Talori_constructor | \$ 39.588,04 | 1503 | 1844 | 990 | 984 | 1258 | 1486 | 1448 |
| 414120001 | DUCHAS MEZCLAD | Dh_8P_Cta_Balta_SU_SSB | \$ 66.939,65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 92 |
| 591450001 | MEZC. LAV. 4P | Ducha_Mezc_SSB_Athenea | \$ 58.304,69 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 734160001 | DUCHAS MEZCLAD | Dh_8P_Plnca_Balta_SU_SSB | \$ 66.939,65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 83 |
| 544300001 | DUCHAS MEZCLAD | Grifería_Lvm_Cj_4Plg_Vento_E | \$ 38.993,61 | 6516 | 3286 | 4450 | 3379 | 3583 | 7135 | 2862 |
| 324503331 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha_Electrica_110v_Tempesta_EA | \$ 60.258,62 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 794190001 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha_Senc_Piscis_BI | \$ 16.193,92 | 2676 | 2840 | 3791 | 4326 | 3323 | 3897 | 2698 |
| NH4010001 | DUCHAS MEZCLAD | Pqte_Mezc_Dh_Briza_x_4 | \$ 132.072,10 | 717 | 378 | 612 | 366 | 372 | 598 | 421 |
| 584108881 | DUCHAS MEZCLAD | Ducha_Monoc_SSB_Tunez | \$ 149.698,28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 380140001 | MEZC. LAV. 8P | Ducha_Monoc_SSB_Nahla | \$ 349.367,81 | 7 | 16 | 19 | 7 | 5 | 25 | 4 |
| 325643331 | LAVAPLATOS | Ducha_SSB_Kelda_constructor | \$ 66.613,15 | 1020 | 847 | 652 | 524 | 1203 | 312 | 1188 |
| | | Griflex_Lvm_Lvp_EA | \$ 1.758,22 | 32287 | 39072 | 35114 | 35834 | 39080 | 35088 | 29221 |
| | | Pqte_Lvp_Sen_Briza_Griflx4 | \$ 77.444,83 | 993 | 526 | 752 | 474 | 1031 | 931 | 774 |

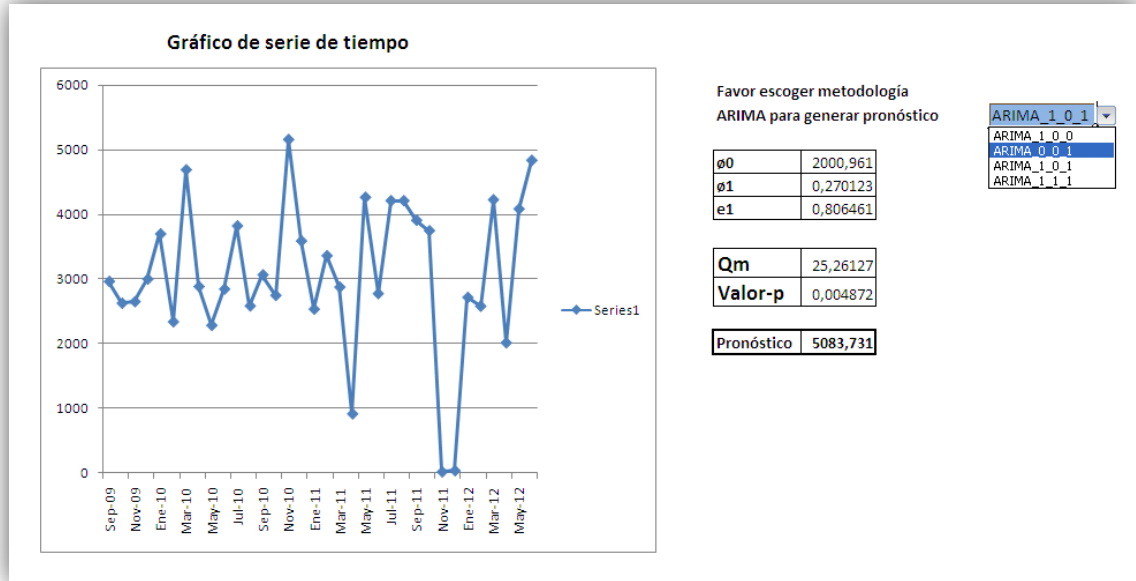
Paso 2. Análisis de gráficas

A partir de un análisis visual de la serie de tiempo y de las gráficas de las autocorrelaciones, determinar qué tipo de modelo ARIMA se ajusta al comportamiento de los datos. Para esto se debe dirigir a la sección de Marco Teórico del Capítulo II y comparar contra los comportamientos de dichos modelos.



Paso 3. Selección del modelo a usar, según interpretación y asociación de las gráficas de la serie de tiempo y sus autocorrelaciones

Una vez elegido el modelo a utilizar para la generación de pronósticos, se debe elegir de la lista desplegable. El programa calculará los coeficientes del modelo y el valor del estadístico de Ljung-Box Q (Q_m). Deberá elegir el modelo que tenga el menor Q_m , para garantizar que su significancia sea la mayor y los datos se ajusten al modelo propuesto.



Paso 4. Elección del modelo y cálculo del pronóstico

Una vez determinado el modelo a usar, habiendo evaluado el estadístico de Ljung-Box Q , deberá generar un consenso para determinar si se va a tomar el valor del pronóstico generado, o se le va a realizar alguna modificación. Recuerde siempre generar consensos con todas las áreas involucradas en el proceso de administración de la demanda.

Anexo 4. Tutorial de la herramienta “Programador de la producción”

El siguiente tutorial se desarrolló para realizar la implementación de la propuesta de mejora al proceso de programación de la producción en la empresa Grifería y Complementos Corona. Basándose en el modelo de minimización de la tardanza total ponderada, se realizó un programa que facilita la programación de la producción de las líneas de ensamble de la empresa.

A continuación se presenta un tutorial para el uso y aplicación de la herramienta

Paso 1. Descargar órdenes de fabricación de cada mini-fábrica

Paso 2. Filtrar cada línea de ensamble y pegar la información en la hoja “Datos” de la herramienta Programador de la producción.

| SEMANA | MERCADO | ARTICULO | DESCRIPCION | IDRAW | AHRE14 | AHRE17 | ANFMTC | F_COMPROMISO | NOPEPIDO | LLINE | COD_CLTÉ |
|----------|---------|-----------|------------------------------|--------|----------------|----------------|------------|--------------|----------|-------|----------|
| Semana 1 | Ors Pte | AG4015551 | Regadera Agata | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 13/10/2012 | 11512516 | 6 | 31017 |
| Semana 2 | Ors Pte | AG4015551 | Regadera Agata | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 18/10/2012 | 11516533 | 6 | 11016 |
| Semana 1 | Ors Pte | AM4005551 | Teleducha Ambar | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 13/10/2012 | 11512548 | 68 | 11024 |
| Semana 1 | Ors Pte | AM4005551 | Teleducha Ambar | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 14/10/2012 | 11513534 | 4 | 21007 |
| Semana 1 | Ors Pte | AM4005551 | Teleducha Ambar | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 14/10/2012 | 11513778 | 13 | 11016 |
| Semana 1 | Ors Pte | AM4005551 | Teleducha Ambar | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 14/10/2012 | 11513809 | 48 | 11024 |
| Semana 1 | Ors Pte | AM4005551 | Teleducha Ambar | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 14/10/2012 | 11513952 | 4 | 31006 |
| Semana 1 | Ors Pte | AM4005551 | Teleducha Ambar | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 15/10/2012 | 11515426 | 1 | 41013 |
| Semana 1 | Ors Pte | BI4000001 | Dh SSB Monoc Brassia Sin Reg | DUCHAS | IMP DUCHAS | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 13/10/2012 | 11512548 | 21 | 11024 |
| Semana 1 | Ors Pte | BI4000001 | Dh SSB Monoc Brassia Sin Reg | DUCHAS | IMP DUCHAS | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 14/10/2012 | 11513809 | 32 | 11024 |
| Semana 2 | Ors Pte | BI4000001 | Dh SSB Monoc Brassia Sin Reg | DUCHAS | IMP DUCHAS | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 16/10/2012 | 11516280 | 1 | 21002 |
| Semana 2 | Ors Pte | BI4010001 | Dh CSB Monoc Brassia Sin Reg | DUCHAS | IMP DUCHAS | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 18/10/2012 | 11516614 | 7 | 11024 |
| Semana 1 | Ors Pte | BI4020001 | Dh SSB Monoc Brassia | DUCHAS | IMP DUCHAS | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 14/10/2012 | 11513778 | 27 | 11016 |
| Semana 2 | Ors Pte | BI4020001 | Dh SSB Monoc Brassia | DUCHAS | IMP DUCHAS | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 16/10/2012 | 11516391 | 11 | 61001 |
| Semana 2 | Ors Pte | BI4030001 | Dh CSB Monoc Brassia | DUCHAS | IMP DUCHAS | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 18/10/2012 | 11516614 | 3 | 11024 |
| Semana 2 | Ors Pte | CO4005551 | Teleducha Coral | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 16/10/2012 | 11516393 | 1 | 41013 |
| Semana 1 | Ors Pte | DN4000001 | *D* Teleducha Danta | DUCHAS | REJILLAS Y TLD | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 11/10/2012 | 11508801 | 42 | 61001 |
| Semana 1 | Ors Pte | IR4005551 | Brazo Iron Largo | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 13/10/2012 | 11512548 | 44 | 11024 |
| Semana 1 | Ors Pte | IR4005551 | Brazo Iron Largo | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 14/10/2012 | 11513972 | 33 | 61001 |
| Semana 1 | Ors Pte | IR4015551 | Brazo Iron Corto | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 13/10/2012 | 11512548 | 57 | 11024 |
| Semana 1 | Ors Pte | IR4015551 | Brazo Iron Corto | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 15/10/2012 | 11514954 | 3 | 11024 |
| Semana 1 | Ors Pte | IR4015551 | Brazo Iron Corto | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 15/10/2012 | 11515118 | 2 | 31014 |
| Semana 2 | Ors Pte | IR4015551 | Brazo Iron Corto | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 16/10/2012 | 11516364 | 4 | 61012 |
| Semana 2 | Ors Pte | IR4015551 | Brazo Iron Corto | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 18/10/2012 | 11516533 | 12 | 11016 |
| Semana 1 | Ors Pte | JA4005551 | Teleducha Jade | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 13/10/2012 | 11512548 | 50 | 11024 |
| Semana 1 | Ors Pte | JA4005551 | Teleducha Jade | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 14/10/2012 | 11513703 | 7 | 41013 |
| Semana 1 | Ors Pte | JA4005551 | Teleducha Jade | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 14/10/2012 | 11513809 | 4 | 11024 |
| Semana 1 | Ors Pte | JA4005551 | Teleducha Jade | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 14/10/2012 | 11513816 | 8 | 21002 |
| Semana 1 | Ors Pte | JA4005551 | Teleducha Jade | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 15/10/2012 | 11515037 | 2 | 31013 |
| Semana 1 | Ors Pte | JA4005551 | Teleducha Jade | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 15/10/2012 | 11515497 | 4 | 11024 |
| Semana 2 | Ors Pte | JA4005551 | Teleducha Jade | DUCHAS | REG EN BLISTER | DUCHAS MEZCLAD | Tlah. Rej. | 18/10/2012 | 11516533 | 13 | 11016 |

Paso 3. Seleccionar el número de iteraciones deseadas, y oprimir el botón “Calcular secuencia óptima”.

Número de iteraciones

Calcular secuencia
óptima

Paso 4. Seleccionar de la lista desplegable el número de turnos a trabajar en la semana.

Turnos a trabajar

Hora inicio Lunes
6
10,48410667

Número de turnos
Favor escoger el número de turnos de ensamble que se van a trabajar esta semana

Turnos a trabajar

Hora inicio Lunes
6
10,48410667

Uno
Dos
Tres

Número de turnos
Favor escoger el número de turnos de ensamble que se van a trabajar esta semana

Paso 5. Consultar programación semanal en la hoja "Calendario"

| Hora inicio | Lunes | Hora inicio | Martes | Hora inicio | Miércoles | Hora inicio | Jueves | Hora inicio | Viernes | Hora inicio | Sábado | Hora inicio | Domingo |
|-------------|---------|-------------|---------|-------------|-----------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|
| 06:00:00 | 5446762 | 06:00:00 | 5512667 | 06:00:00 | 5302528 | 06:00:00 | 5490467 | 06:00:00 | 5512678 | 06:00:00 | 5423582 | 06:00:00 | 5507390 |
| 10:29:03 | 5428173 | 06:56:03 | 5501628 | 07:40:54 | 5397092 | 07:52:06 | 5510627 | 07:38:05 | 5476670 | 06:13:20 | 5514062 | 06:19:16 | 5513812 |
| 12:21:59 | 5428171 | 08:48:05 | 5446761 | 07:45:39 | 5512665 | 07:56:33 | 5495861 | 08:08:12 | 5517030 | 11:51:36 | 5465589 | 06:52:03 | 5485954 |
| 14:21:12 | 5490469 | 12:26:41 | 5302529 | 08:41:42 | 5495082 | 11:33:10 | 5479056 | 08:44:50 | 5510516 | 12:04:03 | 5511465 | 06:58:20 | 5511676 |
| 16:41:19 | 5493695 | 14:07:34 | 5476680 | 10:21:14 | 5507647 | 11:37:09 | 5508707 | 09:00:13 | 5505994 | 12:10:14 | 5516860 | 07:09:23 | 5513384 |
| 19:15:20 | 5302631 | 15:59:41 | 5512666 | 12:35:24 | 5516954 | 14:10:26 | 5504339 | 09:36:08 | 5510397 | 12:32:20 | 5508653 | 07:44:09 | 5469802 |
| 20:56:13 | 5490470 | 16:55:44 | 5493694 | 15:23:34 | 5516919 | 14:48:22 | 5513554 | 09:49:48 | 5418613 | 12:48:56 | 5511447 | 08:09:46 | 5512216 |
| 21:52:16 | 5302530 | 19:29:44 | 5453770 | 18:45:21 | 5476679 | 15:22:32 | 5504341 | 10:06:19 | 5507592 | 12:53:46 | 5485564 | 08:25:09 | 5515340 |
| | | 20:20:03 | 5495083 | 20:34:39 | 5515280 | 15:48:10 | 5516963 | 10:15:34 | 5508651 | 12:55:06 | 5515305 | 08:31:06 | 5508652 |
| | | | | | | | | 10:48:45 | 5472874 | 13:22:54 | 5516201 | 09:17:33 | 5490463 |
| | | | | | | | | 11:00:48 | 5483956 | 13:26:45 | 5513366 | 09:37:10 | 5479670 |
| | | | | | | | | 11:11:52 | 5483961 | 13:56:13 | 5509323 | 09:54:15 | 5516423 |
| | | | | | | | | 11:22:56 | 5479055 | 14:03:03 | 5510045 | 09:59:22 | 5508380 |
| | | | | | | | | 11:56:44 | 5503095 | 14:09:53 | 5479050 | 10:23:58 | 5513500 |
| | | | | | | | | 12:08:41 | 5514143 | 14:31:01 | 5485826 | 10:28:46 | 5513872 |
| | | | | | | | | 13:07:42 | 5510414 | 15:34:46 | 5513134 | 10:43:49 | 5516217 |
| | | | | | | | | 13:36:36 | 5513368 | 15:35:39 | 5509558 | 10:50:05 | 5516556 |
| | | | | | | | | 14:33:59 | 5423580 | 16:25:14 | 5495081 | 10:54:37 | 5485959 |
| | | | | | | | | 14:41:56 | 5509569 | | | 10:58:11 | 5485829 |
| | | | | | | | | 14:52:11 | 5514130 | | | 11:31:23 | 5504159 |
| | | | | | | | | 15:16:08 | 5514213 | | | 11:38:13 | 5495403 |
| | | | | | | | | 15:40:05 | 5479057 | | | 12:07:58 | 5504180 |
| | | | | | | | | 15:56:54 | 5506052 | | | 12:28:43 | 5504222 |
| | | | | | | | | 16:20:50 | 5506652 | | | 12:49:28 | 5504292 |
| | | | | | | | | 16:44:47 | 5507236 | | | 13:10:12 | 5504296 |
| | | | | | | | | 17:08:44 | 5427923 | | | 13:30:57 | 5511484 |
| | | | | | | | | 17:15:22 | 5509329 | | | 13:56:34 | 5516144 |
| | | | | | | | | 17:31:57 | 5510405 | | | 14:01:42 | 5418612 |
| | | | | | | | | 17:48:33 | 5508649 | | | 14:06:07 | 5513464 |
| | | | | | | | | 19:24:11 | 5499234 | | | 14:23:18 | 5402724 |