

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS HEURÍSTICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y
ANÁLISIS DE PROBLEMAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO EN LA
COMERCIALIZADORA DE PLÁSTICOS LÓPEZ CON EL FIN DE BRINDAR
POSIBLES SOLUCIONES AL PROGRAMA DE PRODUCCIÓN**

JONATHAN ANDRES LÓPEZ BARAJAS

DANIEL SEBASTIAN TINJACA RODRIGUEZ

PAULA ANDREA HERNÁNDEZ MARTINEZ

**Corporación Universitaria Minuto de Dios
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería de Industrial
Bogotá, D.C
2017**

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS HEURÍSTICAS PARA LA IDENTIFICACIÓN Y
ANÁLISIS DE PROBLEMAS EN EL PROCESO PRODUCTIVO EN LA
COMERCIALIZADORA DE PLÁSTICOS LÓPEZ CON EL FIN DE BRINDAR
POSIBLES SOLUCIONES AL PROGRAMA DE PRODUCCIÓN**

**Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Industrial**

Director:

MSC. ESP. ING. B. RAMÍREZ

Presentado por:

**Jonathan Andrés López Barajas
Daniel Sebastián Tinjaca Rodríguez
Paula Andrea Hernández Martínez**

**Corporación Universitaria Minuto de Dios
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería de Industrial
Bogotá, D.C
2017**

Nota de aceptación

Firma de presidente de Jurado

Firma de Jurado

Firma de Jurado

AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos a la Universidad Minuto de Dios y al Programa de Ingeniería Industrial por la oportunidad de realizar el proyecto con la ayuda del semillero de investigación titulado "CIEMO".

Contenido

1	CAPITULO I – ANTECEDENTES	8
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
	JUSTIFICACIÓN	11
1.2	OBJETIVOS	11
1.2.1	Objetivo General	11
1.2.2	Objetivos Específicos.	11
1.3	METODOLOGÍA	12
1.4	ALCANCE	12
2	CAPITULO II – MARCO CONTEXTUAL.....	13
2.1	COMERCIALIZADORA DE PLÁSTICOS LÓPEZ	13
2.1.1	ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL	13
3	CAPITULO III – MARCO CONCEPTUAL	15
3.1	PRONÓSTICO DEMANDA	15
3.2.	HIPOTESIS ESTADÍSTICA.....	16
4	CAPITULO IV – MARCO METODOLÓGICO.....	17
4.1	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	17
5	CAPITULO V – DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
5.1	PRONÓSTICO DE LA DEMANDA.....	18
5.1.1	PRUEBA DE HIPOTESIS.....	25
5.1.2	SEÑAL DE RASTREO	26
5.3	MODELO SECUENCIACIÓN.....	27
5.4	PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN.....	33

GLOSARIO

Secuenciación: La secuenciación tiene distintos niveles de complejidad, se aplicaba el principio de prioridad y así elegir el mejor orden para procesar distintas operaciones que pasaban por un centro de trabajo; el siguiente nivel corresponde en determinar la secuencia para efectuar el mismo proceso pero esta vez para dos centros de trabajo.

Regla de Johnson: La regla de Johnson es un algoritmo heurístico utilizado para resolver situaciones de secuenciación de procesos que operan dos o más órdenes (operaciones) que pasan a través de dos máquinas o centros de trabajo. Su principal objetivo es minimizar el tiempo de procesamiento total del grupo de trabajos.

Programación Lineal: La Programación Lineal corresponde a un algoritmo a través del cual se resuelven situaciones reales en las que se pretende identificar y resolver dificultades para aumentar la productividad respecto a los recursos (principalmente los limitados y costosos), aumentando así los beneficios. El objetivo primordial de la Programación Lineal es optimizar, es decir, maximizar o minimizar funciones lineales en varias variables reales con restricciones lineales (sistemas de inecuaciones lineales), optimizando una función objetivo también lineal.

Demanda: Cuando se habla de demanda, se refiere uno a la cantidad de bienes o servicios que se solicitan o se desean en un determinado mercado de una economía a un precio específico.

La demanda que una persona, una familia, una empresa o un consumidor en general tiene de un determinado producto o servicio puede estar influenciada por un gran número de factores que determinarán la cantidad de producto solicitado o demandado o, incluso, si éste tiene demanda o no.

Oferta: Cuando se habla de oferta se hace referencia a la cantidad de bienes, productos o servicios que se ofrecen en un mercado bajo unas determinadas

condiciones. El precio es una de las condiciones fundamentales que determina el nivel de oferta de un determinado bien en un mercado.

Diagrama analítico de proceso: es la representación gráfica del orden de todas las operaciones, transportes, inspecciones, demoras y almacenajes que tienen lugar durante un proceso o procedimiento, y comprende la información considerada adecuada para el análisis, como por ejemplo: tiempo requerido y distancia recorrido.

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos ha cambiado el contexto en que se desarrolla el mercado haciendo más compleja la sostenibilidad de las compañías, por ello se han visto en la necesidad de innovar a tal punto de pretender ser más competitivos, usando herramientas tales como pronósticos a fin de poseer sistemas flexibles que permitan enfrentar adecuadamente los riesgos del diario vivir empresarial e industrial, controlar, anticipar e incrementar la participación del mercado cambiante, que irán ligados a la optimización de los recursos.

Los pronósticos son métodos numéricos de predicción de la demanda, se basan en series temporales tales como, suavización exponencial, modelos de función de transferencia o en relaciones causales, por ejemplo análisis de regresión lineal [1]. Los pronósticos de ARIMA están presentes en innumerables campos de estudio, según Contreras, Espinola, Nogales y Conejo [2], utilizan el modelo para predecir los métodos de electricidad del día siguiente basados en la metodología de ARIMA, a su vez, se utilizan para analizar serie temporales y en el pasado se han utilizado principalmente para la predicción de la carga debido a su precisión y solidez matemática. Por otro lado, en el área de salud, Miranda y Ramos [3] emplea el pronóstico ARIMA con enfoque Box-Jenkins para el cálculo de tendencias nacional y regional de enfermedades. También se encuentra presente en otros sectores, constituyendo una herramienta de amplio espectro de aplicación, en la modelación económica, es posible entender el comportamiento de ciertas variables con respecto al tiempo [4], y combinados con otros modelos pueden generar un mejor resultado como lo plantea [5], Proponiendo una metodología híbrida que combina tanto los modelos ARIMA como las redes neuronales artificiales para aprovechar las fuerzas únicas de estos modelos en modelos lineales y no lineales, los resultados experimentales indican que el modelo puede ser una manera efectiva para la predicción precisa.

Un modelo de producción, está conformado por todos aquellos métodos, procedimientos, formas de trabajo que son aplicados a la elaboración de

productos, tomando en cuenta que las relaciones de producción y la fuerza productiva, son los principales componentes; existen diferentes formas de establecer un sistema de producción, una de ellas es la secuenciación Johnson, conocida como shedulling y se entiende como la asignación en el tiempo de los recursos disponibles con el objeto de optimizar una determinada medida de comportamiento [6], el método que se analiza para el tipo de producción de la Comercializadora de Plásticos López es el de algoritmo de Johnson, el cual permite estudiar la optimización de tiempo y la medida de efectividad de producción.

La programación de la producción es un problema que todo sistema productivo posee y la forma de realizarla influye en todos los aspectos de la organización, Los problemas de optimización y satisfacción de restricciones son extraordinariamente complejos y variados, al mismo tiempo, son problemas de alto interés, tanto en el aspecto científico-técnico como en el aplicado. Por ello, poder disponer de soluciones algorítmicas eficientes y flexibles supone un alto valor añadido en muy diferentes entornos de aplicación [7], como lo evidencia [8], demostrando la efectividad del Método de Johnson al resolver óptimamente instancias de 2 máquinas y de hasta 500 tareas en una fracción de segundos.

Establecer un orden de ejecución de dichas operaciones (secuenciación) y determinar los instantes de inicio y de finalización de cada operación, en los sistemas de gestión de producción tipo "arrastre" (pull) y en el marco concreto de la filosofía jit (Just-in-time), la secuenciación de operaciones se convierte en el aspecto fundamental de la programación de operaciones [9]. Según [10], la secuenciación adecuada de pedidos constituye un importante problema que se plantea dentro de la Dirección de Operaciones a corto plazo y el orden en que los pedidos serán atendidos o procesados, determinará algún parámetro de interés cuyos valores convendrá optimizar en la medida de lo posible.

Por ello la investigación tiene como objetivo dar solución al problema de la empresa Comercializadora de plásticos López por satisfacer la demanda,

mediante conocimientos de ingeniería industrial, y de esta forma definir un sistema de producción a partir de la metodología de Johnson, donde se plantea la capacidad de la empresa con una demanda pronosticada, obtenida por el modelo de Box y Jenkins, dicho modelo proporciona predicciones sin necesidad de la existencia de ningún tipo de condición previa [11], de esta forma se aterrizan los sistemas y procesos de la empresa. Por lo tanto el artículo se encuentra estructurado en cuatro apartados, la primera presenta la formulación de la problemática, la segunda parte muestra el pronóstico de la demanda, el tercero presenta los modelos de producción utilizados y por último se presenta los resultados y discusión.

1 CAPITULO I – ANTECEDENTES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Comercializadora de plásticos López, produce separadores de plásticos, con materias primas de dos tipos, rollos en polipropileno (PP) y en polietileno (PL), La comercializadora de plásticos López en el diagnóstico de sus operaciones, presenta una deficiencia en la satisfacción de la demanda, puesto que se evidencia una baja oferta efectiva en separadores plásticos; por consiguiente se observan causales tales como; desconocimiento de tiempos de procesos que ocasionan la falta de estandarización del proceso; una indeterminada capacidad de producción y en el afán por el intento de suplir dicha demanda deja al descubierto el problema en el incremento del indicador de desperdicio, estas deficiencias pueden llevar a la empresa a disminuir su participación actual en el mercado, fortalecer la competencia y desaprovechar las oportunidades que brinda el mercado.

Se plantea el siguiente problema a evaluar mediante la metodología de secuencia de Johnson y MPS:

¿Cuál es el modelo que obtenga la mejor secuenciación de las tareas y plan de producción correspondiente a la empresa?

JUSTIFICACIÓN

Queriendo dar una solución a la problemática evidenciada anteriormente, por lo que se acudirá al empleo de modelos matemáticos que servirán para ser contrastados con el funcionamiento cotidiano de la empresa, arrojando resultados que brindaran cabida para que sea posible realizar investigaciones posteriores, generando resultados que ayudaran a mejorar los sistemas y procedimientos implementados por la empresa .

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General.

Identificar los problemas que alteran el funcionamiento productivo de la compañía mediante el uso de técnicas heurísticas, evaluando el proceso de producción con el fin de establecer las causas y determinar unas posibles soluciones que se podrían sugerir para el mejoramiento del mismo y de esa manera incrementar la participación en el mercado y la Utilidad de la empresa.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Comprender la situación actual mediante la investigación de tipo explorativo y de esta forma conocer los aspectos a mejorar.
- Hallar un modelo de pronostico que se ajusten a las condiciones cambiantes de la demanda impuesta por el mercado
- Proponer el modelo de producción que mejor se adapte a las condiciones y recursos actuales de la empresa, con el fin de optimizar el sistema.
- Evaluar estadísticamente los resultados obtenidos con el fin de establecer si las posibles soluciones en realidad conllevan al mejoramiento del proceso y de esta manera aceptar o rechazar las posibles alternativas ofrecidas en la investigación en pro de la condición actual.

1.3 METODOLOGÍA

La investigación que se desarrollará en la Comercializadora de plásticos López tendrá un enfoque cuantitativo con una profundidad de tipo exploratoria, ya que existe poca información sobre modelos matemáticos aplicados en empresas del sector de plásticos, dicha investigación funcionará como base para posteriores estudios; Explicativo, puesto que se van a identificar las causas de la problemática, mediante la definición de variables que serán estudiadas a través de un muestreo, donde se codificarán y tabularán los datos para posteriormente ser analizados, mediante las fuentes de información primaria a través de un trabajo de campo, con métodos de investigación tales como la observación directa y análisis donde se identificarán características del proceso productivo de la empresa, la información será tratada mediante los siguientes procedimientos, toma de tiempos, capacidad productiva de la maquinaria, cálculo de la productividad entre otros con el fin de emplear modelos matemáticos y estadísticos que se adapten a la producción de la empresa. Los datos obtenidos serán presentados en forma escrita mediante un artículo científico con anexos de tablas y procedimientos más relevantes realizados durante la investigación, con el fin de fortalecer los conocimientos del lector.

1.4 ALCANCE

El proyecto en desarrollo tiene como alcance ofrecer un sistema de producción para la Comercializadora de plásticos López en Bogotá, los aspectos puntuales que comprende la investigación están referidos a sistemas de producción, tales como, pronósticos de demanda, modelos de producción, toma de tiempos. La investigación no será de carácter obligatoria implementarla.

2 CAPITULO II – MARCO CONTEXTUAL

2.1 COMERCIALIZADORA DE PLÁSTICOS LÓPEZ

2.1.1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

RESEÑA HISTÓRICA

La comercializadora de plásticos nació ante cámara de comercio el 22 de enero de 2002 tras de que su fundador (actualmente el representante legal) se quedase sin trabajo.

La pequeña empresa inicio actividades en el barrio Carvajal donde se dio inicio a la actividad de principales ingresos económicos “manufactura de separadores plásticos” para alimentos la cual constaba de dos máquinas totalmente manuales una guillotina y una convertidora allí permaneció alrededor de 3 años, de donde tuvo que partir debido a que el arriendo de sus instalaciones era bastante costoso para esa época, en ese entonces se contaba con una fuerza laboral de dos personas.

Al trasladarse de sede decidieron ubicarse en el barrio Santa fe, allí se vivió una crisis económica que casi cuesta el fracaso de la microempresa, tras un año de un índice bajo en ventas, se lograron fidelizar un par de clientes que significaron un impacto positivo tanto económicamente como a nivel emocional.

Las cosas empezaron a mejorar y la compañía debió cambiar su capacidad instalada por lo que nuevamente se trasladaron a unas pocas cuadras de donde funcionaban, con este cambio se vio la necesidad de adquirir maquinaria mucho más tecnificada y se pasó a una guillotina semiautomática y una convertidora automática, añadido a esto se contrató una persona más.

Durante 5 años la compañía creció año tras año, por cuestiones de seguridad, salubridad e higiene nuevamente hubo un cambio instalaciones, esta vez la

empresa se ubicó estratégicamente en Fontibón para el año 2016 se contrataron tres personas más contando actualmente con 6 personas como fuerza de trabajo.

OBJETO SOCIAL

El objeto comprende la fabricación, comercialización y distribución de productos plásticos para alimentos, y todas las actividades lícitas complementarias y a fines.

MISIÓN

Somos una empresa dedicada a la fabricación, comercialización y distribución de insumos plásticos para el sector alimenticio, implementando buenas prácticas de manufactura y garantizando productos de calidad que satisfagan las expectativas de nuestros clientes, guiados bajo una filosofía basada en la responsabilidad social y ambiental otorgando oportunidades de desarrollo a nuestros grupos de interés.

VISIÓN

Ser la empresa líder a nivel local y nacional para el 2020 contando con tecnología de punta y recurso humano calificado e infraestructura idónea para el desarrollo de los procesos productivos, garantizando la seguridad y favoreciendo el bienestar de nuestros colaboradores y del entorno, comprometidos continuamente con el aseguramiento de la calidad.

FLUJOGRAMA DEL PROCESO PRODUCTIVO



Figura 1. Diagrama de procesos.

3 CAPITULO III – MARCO CONCEPTUAL

3.1 PRONÓSTICO DEMANDA

Los pronósticos se clasifican en cuatro tipos básicos: *cualitativo*, *análisis de series de tiempo*, *relaciones causales* y *simulación*.

Las técnicas cualitativas son subjetivas y se basan en estimados y opiniones. El **análisis de series de tiempo**, enfoque primario de este capítulo, se basa en la idea de que es posible utilizar información relacionada con la demanda pasada para predecir la demanda futura. La información anterior puede incluir varios componentes, como influencias de tendencias, estacionales o cíclicas, y se describe en la sección siguiente. El pronóstico causal, que se analiza mediante la técnica de la regresión lineal, supone que la demanda se relaciona con algún factor subyacente en el ambiente. Los modelos de simulación permiten al encargado del pronóstico manejar varias suposiciones acerca de la condición del pronóstico. En este capítulo se estudian técnicas cualitativas y de series de

tiempo, pues son las más comunes en la planificación y control de la cadena de suministro

ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO

Los modelos de pronósticos de series de tiempo tratan de predecir el futuro con base en información anterior.

REGRESION LINEAL

La relación matemática determinística más simple entre dos variables x y y es una relación lineal $y = \beta_0 + \beta_1 x$. El conjunto de pares (x, y) para los cuales $y = \beta_0 + \beta_1 x$ determina una línea recta con pendiente β_1 e intersección en y β_0 . El objetivo de esta sección es desarrollar un modelo probabilístico lineal.

SUAVIZACION EXPONENCIAL DOBLE

La razón por la que se llama suavización exponencial es que cada incremento en el pasado se reduce $(1 - \alpha)$.

MEDICIÓN DE ERRORES

La **desviación absoluta media (DAM)**: es el error promedio en los pronósticos mediante valores absolutos.

3.2. HIPOTESIS ESTADÍSTICA

Una **hipótesis estadística** o simplemente *hipótesis* es una pretensión aseveración sobre el valor de un solo parámetro (característica de una población o característica de una distribución de probabilidad), sobre los valores de varios parámetros o sobre la forma de una distribución de probabilidad completa.

En cualquier problema de prueba de hipótesis, existen dos hipótesis contradictorias consideradas. Una podría ser la pretensión de que $\mu = 0.75$ y la otra $\mu \neq 0.75$ o las dos proposiciones contradictorias podrían ser $p \geq 0.10$ y $p \leq 0.10$. El objetivo es decidir, con base en información muestral, cuál de las dos hipótesis es la correcta.

CURTOSIS

Un valor cercano a 0 correspondería a una distribución normal casi en forma de campana. Curtosis positiva indica una distribución que es más puntiaguda en el centro y tiene colas más largas que la normal (**Datos Anómalos**). Curtosis negativa indica una distribución que es más plana que la normal con colas más cortas.

4 CAPITULO IV – MARCO METODOLÓGICO

4.1 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se realizó en la empresa Comercializadora de Plásticos López, con el fin de desarrollar el estudio se planeó un cronograma de actividades.

Como primera instancia se recibió asesoría y se realizó una visita empresa para realizar un diagnóstico y poder identificar los procesos productivos y las falencias que posiblemente afectan el rendimiento productivo de la empresa determinando la problemática a estudiar.

Posteriormente se investigó los posibles modelos matemáticos que se podían adaptar al funcionamiento y características de la empresa y así poder identificar los datos necesarios para comenzar a programar.

Con la recopilación de la información se pretende obtener los datos suficientes para realizar los modelos de producción y obtener resultados confiables.



Figura 2. Estructura de la metodología

5 CAPITULO V – DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 PRONÓSTICO DE LA DEMANDA

Para poder pronosticar los datos del año 2017, se tomaron los datos históricos del año 2016.

TABLA I . DATOS HISTORICOS DE LA DEMANDA

DEMANDA 2016		
	MES	KILOS
1	ENERO	7394
2	FEBRERO	10506
3	MARZO	13544
4	ABRIL	10710
5	MAYO	10913
6	JUNIO	15408
7	JULIO	12336
8	AGOSTO	14830
9	SEPTIEMBRE	14730
10	OCTUBRE	13952
11	NOVIEMBRE	17358
12	DICIEMBRE	16740

ANALISIS DISTRIBUCIÓN DE LA DEMANDA

TABLA II. ANALISIS DESCRIPTIVO DE LA DEMANDA

Variable	DEMANDA (Serie1)
Observaciones	12
Obs. con datos perdidos	0
Obs. sin datos perdidos	12
Mínimo	7394
Máximo	17358
Media	13201,75
Desv. típica	2915,813
Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias	95%

La distribución que se ajusta mejor a los datos para la prueba de bondad de ajuste es la distribución Normal.

TABLA III. PARÁMETROS ESTIMADOS

Parámetro	Valor
μ	13201,750
sigma	2915,813

Estadísticos estimados sobre los datos y calculados utilizando los parámetros estimados de la distribución Normal:

TABLA IV. PARAMETROS DE POSICION Y DISPERSION

Estadístico	Datos
Media	13201,750
Varianza	8501969,841
Asimetría (Pearson)	-0,364
Curtosis (Pearson)	-0,984

Interpretación de la prueba

H0: La muestra sigue una distribución Normal

Ha: La muestra no sigue una distribución Normal,

Puesto que el valor-p calculado es mayor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, no se puede rechazar la hipótesis nula H0. El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es de 97,13%.

MODELOS DE PRONÓSTICO

Los modelos de pronósticos para proyectar la demanda en el presente trabajo serán: Regresión Lineal, Suavización Exponencial Doble (Modelo de Hold) y Modelo ARIMA (Box Jenkins).

REGRESION LINEAL

El objetivo fundamental de regresión lineal es pronosticar la demanda a partir de una o más causas (variables independientes), las cuales pueden ser por ejemplo el tiempo. Precios del producto, precios de competencia.

El cálculo de series de tiempo y relaciones causales a partir de la demanda histórica de un bien o servicio para que cambien en función del tiempo, por otro lado cuando la variable que se pronostica cambia en función de la otra (variable causal).

La aplicación de Regresión Lineal es adecuada cuando se evidencia una tendencia en los datos históricos del pronóstico.

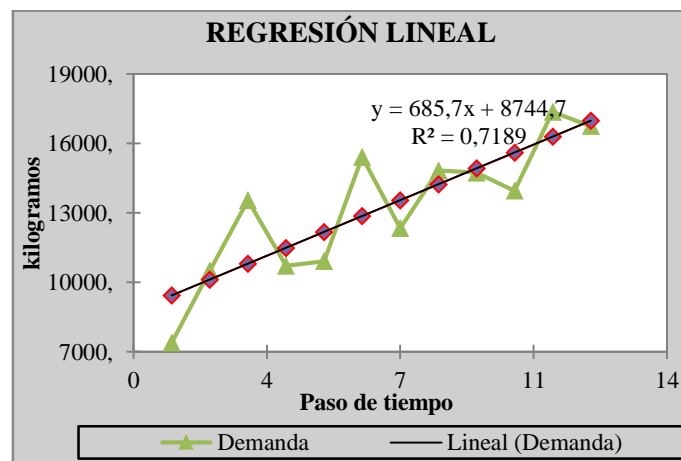


Figura 3. Pronóstico Regresión lineal.

Análisis de regresión lineal

TABLA V. ESTADISTICAS DE REGRESION

Coefficiente de correlación múltiple	0,847897565
Coefficiente de determinación R^2	0,718930281
R^2 ajustado	0,690823309
Error típico	1621,29914

Observaciones	12
---------------	----

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Intercepción	8744,727	997,841	8,764	0,000	6521,400	10968,055	6521,400	10968,055
Variable X 1	685,696	135,580	5,058	0,000	383,605	987,787	383,605	987,787

En el desarrollo del modelo de Regresión Lineal se analizó el valor de R^2 igual a 0.71. La gráfica de dispersión muestra que se relacionan por medio de una recta, cuya ecuación es $y = a + bx$. El modelo utilizado es $y = \alpha + \beta x + \epsilon$ que corresponde a la recta que representa el comportamiento de la demanda. Por medio del método de mínimos cuadrados se llega al valor medio del modelo $E(y)$ o ecuación estimada de regresión $\hat{y} = a + bx$ a partir de la muestra. Una vez obtenida la ecuación estimada de la Regresión igual a $y = 685.7x + 8744.7$ se debe determinar la medida de la bondad de ajuste y la fuerza de esa relación por medio del R^2 que para este caso fue de 0.71893, es decir que la ecuación tiene un nivel bajo de ajuste respecto a la realidad pues solo explica la variación de y en un 71 [13] Además de esto la línea de tendencia que se establece en la Figura 1, expone que es más confiable cuando su valor R^2 está establecido en uno o cerca de uno.

SUAVIZACION EXPONENCIAL DOBLE

Al pronosticar la demanda para el año 2017 con el Método de Suavización Exponencial Doble se puede establecer que el pronóstico y la proyección de las serie de tiempo no se ajustan a la demanda real, así se evidencia en la Figura 2. donde las líneas de tendencia tanto del pronóstico como de la demanda real se intersectan (punto de inflexión) debido a que poseen una diferencia significativa entre pendientes lo que conlleva a que el pronóstico no se ajuste con el comportamiento real del mercado hacia la compañía.

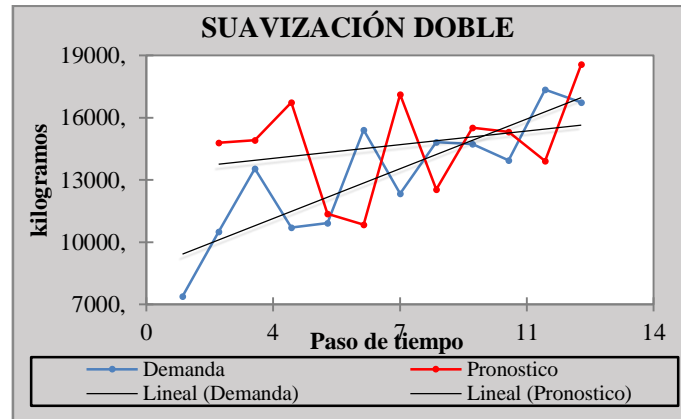


Figura 4. Pronóstico Suavización exponencial doble con línea de tendencia

TABLA VI. ESTADÍSTICOS DE SUAVIZACION

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Serie1	12	0	12	7394,000	17358,000	13201,750	2915,814

Estadísticos de bondad del ajuste (Serie1):

Estadístico	Valor
Observaciones	12,000
GL	11,000
SEC	105059189,181
MEC	9550835,380
RMSE	3090,443
MAPE	21,918
MPE	-10,135
MAE	2836,651
R ²	

TABLA VII. PARÁMETROS DEL MODELO (SERIE1):

Estadístico	Parámetro
alfa	0,700
S1	7394,000
S2	7394,000

ARIMA

La metodología de los modelos ARIMA tiene un enfoque donde se predice de forma estocástica, para efectuar la estimación de un modelo ARIMA se requiere de una serie temporal mensual o trimestral, esta metodología consiste en encontrar un modelo matemático que represente el comportamiento de una serie temporal de datos y realice previsiones introduciendo únicamente el periodo de tiempo correspondiente [11]. Con el modelo ARIMA se pretende medir la correlación lineal que existe entre los datos obtenidos en los diferentes periodos de tiempo (meses), con el fin de aumentar la información sobre dichos datos y establecer cómo se relacionan entre sí en una serie temporal para la construcción acertada del modelo a pronosticar [12].

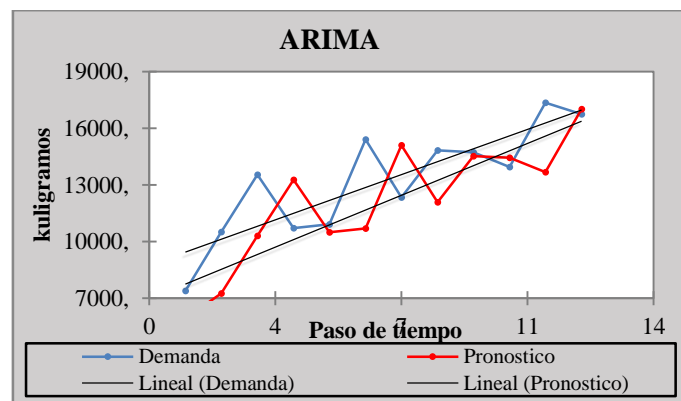


Figura 5. Pronostico ARIMA con línea de tendencia.

TABLA VIII. ESTADÍSTICAS DE BONDAD Y AJUSTE

Observaciones	12
GL	10
SEC	81414144,2
MEC	6784512,01
RMSE	2604,70958
Varianza RB	6784512,01
MAPE(Dif)	16,8214617
MAPE	16,8214617
-2Log(Vero.)	226,039659
FPE	8018059,65
AIC	230,039659
AICC	231,372992
SBC	231,009472
Iteraciones	119

Parámetro	Valor	Error típico Hess.	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)	Error típico asint.	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
AR(1)	0,980	0,027	0,928	1,032	0,058	0,867	1,093

La demanda de la empresa de plásticos López no presenta un comportamiento estacionario, por lo cual el modelo de pronósticos ARIMA es una herramienta adecuada ya que proyecta la demanda del año 2017 y realiza una predicción ajustada de los datos históricos y su comportamiento en 2016 como se puede observar en la Figura 3. donde es evidente que el ajuste del pronóstico con respecto a la demanda real ya se refleja en las pendientes de dichas líneas de tendencia [14].

5.1.1 PRUEBA DE HIPOTESIS

TABLA IX. ANALISIS DESCRIPTIVO DE LA PRUEBA DE HIPOTESIS

Variable	ARIMA(Serie 1)
Observaciones	12
Obs. con datos perdidos	0
Obs. sin datos perdidos	12
Mínimo	5918,467
Máximo	17008,861
Media	12062,474
Desv. típica	3273,369
Intervalo de confianza para la diferencia entre las medias	95%

TABLA X. ANALISIS DESCRIPTIVO DE LA PRUEBA DE HIPOTESIS

Diferencia	12062,474
t (Valor observado)	12,765
t (Valor crítico)	2,201
GL	11
valor-p (bilateral)	< 0,0001
alfa	0,05

Interpretación de la prueba:

H0: Los datos del pronóstico establecidos con el Modelo ARIMA, cumplen una distribución normal.

Ha: Los datos del pronóstico establecidos con el Modelo ARIMA, NO cumplen una distribución normal.

Puesto que el valor-p computado es menor que el nivel de significación $\alpha=0,05$, se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha. Existe suficiente evidencia estadística que corrobora lo anterior y los datos del pronóstico no cumplen con el Teorema del límite central puesto que la media, mediana y moda no poseen el mismo valor.

El riesgo de rechazar la hipótesis nula H0 cuando es verdadera es inferior al 0,01%.

5.1.2 SEÑAL DE RASTREO

Es una medida de desempeño que permite medir la desviación del pronóstico respecto a variaciones en la demanda.

El 71% se encuentra dentro del intervalo $[-4,4]$ de los límites aceptables

TABLA XI. SEÑAL DE REASTREO PARA EL PRONÓSTICO

	DEMANDA	PRONOSTICO	REDOND.	ERROR ABS	SUMATORIA	MAD	ERROR N	SUMATORIA	SEÑAL DE RASTREO
1	7394,000	5918,467	5918,000	1475,533043	1475,53304	1475,53	1475,533	1475,533	1
2	10506,000	7245,277	7245,000	3260,723039	4736,25608	2368,13	3260,723	4736,256	2
3	13544,000	10294,682	10295,000	3249,317859	7985,57394	2661,86	3249,318	7985,574	3
4	10710,000	13271,576	13272,000	2561,575758	10547,1497	2636,79	-2561,576	5423,998	2,06
5	10913,000	10494,579	10495,000	418,4211184	10965,5708	2193,11	418,421	5842,419	2,66
6	15408,000	10693,496	10693,000	4714,504264	15680,0751	2613,35	4714,504	10556,924	4,04
7	12336,000	15098,083	15098,000	2762,083231	18442,1583	2634,59	-2762,083	7794,840	2,96
8	14830,000	12087,873	12088,000	2742,12651	21184,2848	2648,04	2742,127	10536,967	3,98
9	14730,000	14531,709	14532,000	198,2908671	21382,5757	2375,84	198,291	10735,258	4,52
10	13952,000	14433,721	14434,000	481,7205346	21864,2962	2186,43	-481,721	10253,537	4,69
11	17358,000	13671,369	13671,000	3686,63076	25550,927	2322,81	3686,631	13940,168	6
12	16740,000	17008,861	17009,000	268,8608988	25819,7879	2151,65	-268,861	13671,307	6,35

5.2 MODELO SECUENCIACIÓN

5.3.1. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

Los estándares de tiempo establecidos con precisión hacen posible incrementar la eficiencia del equipo y el personal operativo [15], por ello son de gran importancia para la comercializadora de plásticos López pues afectan directamente los siguientes factores, costos, inconformidades del personal y posiblemente fallas de toda la empresa, esto puede significar la diferencia entre el éxito y el fracaso de un negocio.

El proceso de producción de la empresa consta de dos máquinas, (Convertidora y Guillotina), cada orden de trabajo debe pasar primero por la convertidora para que posterior a ello el operario de la guillotina pueda realizar el corte, dicho corte está sujeto a las especificaciones del cliente (Medida, referencia y calibre), el cliente tiene la posibilidad de elegir entre dos referencias de polímeros (polietileno y polipropileno), con el fin de suplir las necesidades de los clientes la empresa destina el 70% de sus compras de materia prima a la primera referencia, el 30% restante a la segunda referencia respectivamente.

TABLA XII. CAPACIDAD INSTALADA

Capacidad de las Máquinas	
Días hábiles semanal	5,6
Número de horas por turno	9
Numero de turnos según las condiciones de producción	1
Pérdidas Estándar por no asistencia (horas)	0,1
Pérdidas estándar en el tiempo por factores organizacionales (horas)	0,25
Perdidas estándar en el tiempo por factores externos naturales (horas)	0,1
Capacidad mensual en horas	199,6
Capacidad mensual en kilogramos	14984

Fuente: Autores

Tiempo estandarizado por referencia de producto.

TIEMPOS DE PREPARACION POLIETILENO BAJA DENSIDAD (A)		
CALIBRE	1,8	
ANCHO	92 cm	
PESO	75 Kg	
MEDIDAS PRODUCTO FINAL	10 CM X 11 CM	
ACTIVIDAD	CONVERTIDORA	GUILLOTINA
ALISTAMIENTO Y MONTAJE	4	6
PREPARACION	0	0
TIEMPO PROCESO	38	17
OTROS TIEMPOS		
EMPACADO		7
TRANSPORTE ALMACENAMIENTO		1

TIEMPOS DE PREPARACION POLIETILENO BAJA DENSIDAD (B)		
CALIBRE	2,5	
ANCHO	92 cm	
PESO	75 Kg	
MEDIDAS PRODUCTO FINAL	10 CM X 11 CM	
ACTIVIDAD	CONVERTIDORA	GUILLOTINA
ALISTAMIENTO Y MONTAJE	3	6
PREPARACION	0	0
TIEMPO PROCESO	34	19
OTROS TIEMPOS		
EMPACADO		7
TRANSPORTE ALMACENAMIENTO		1

TIEMPOS DE PREPARACION POLIETILENO BAJA DENSIDAD (C)		
CALIBRE	1,8	
ANCHO	92 cm	
PESO	75 Kg	
MEDIDAS PRODUCTO FINAL	11 CM X 11CM	
ACTIVIDAD	CONVERTIDORA	GUILLOTINA
ALISTAMIENTO Y MONTAJE	5	7
PREPARACION	0	0
TIEMPO PROCESO	39	19
OTROS TIEMPOS		
EMPACADO		7
TRANSPORTE ALMACENAMIENTO		1

TIEMPOS DE PREPARACION POLIETILENO BAJA DENSIDAD (D)		
CALIBRE	2,5	
ANCHO	92 cm	
PESO	75 Kg	
MEDIDAS PRODUCTO FINAL	11 CM X 11 CM	
ACTIVIDAD	CONVERTIDORA	GUILLOTINA
ALISTAMIENTO Y MONTAJE	4	7
PREPARACION	0	0
TIEMPO PROCESO	35	20
OTROS TIEMPOS		
EMPACADO		7
TRANSPORTE ALMACENAMIENTO		1

TIEMPOS DE PREPARACION POLIPROPILENO MONORIENTADO (E)		
CALIBRE	1,8	
ANCHO	91 cm	
PESO	75 Kg	
MEDIDAS PRODUCTO FINAL	10 CM X 11CM	
ACTIVIDAD	CONVERTIDORA	GUILLOTINA
ALISTAMIENTO Y MONTAJE	4	6
PREPARACION	0	0
TIEMPO PROCESO	37	18
OTROS TIEMPOS		
EMPACADO		7
TRANSPORTE ALMACENAMIENTO		1

TIEMPOS DE PREPARACION POLIPROPILENO MONORIENTADO (F)		
CALIBRE	2,5	
ANCHO	91 cm	
PESO	75 Kg	
MEDIDAS PRODUCTO FINAL	10 CM X 11CM	
ACTIVIDAD	CONVERTIDORA	GUILLOTINA
ALISTAMIENTO Y MONTAJE	4	7
PREPARACION	0	0
TIEMPO PROCESO	33	19
OTROS TIEMPOS		
EMPACADO		7
TRANSPORTE ALMACENAMIENTO		1

TIEMPOS DE PREPARACION POLIPROPILENO MONORIENTADO (G)		
CALIBRE	1,8	
ANCHO	91 cm	
PESO	75 Kg	
MEDIDAS PRODUCTO FINAL	11 CM X 11CM	
ACTIVIDAD	DESEMBOLVEDORA	GUILLOTINA
ALISTAMIENTO Y MONTAJE	4	6
PREPARACION	0	0
TIEMPO PROCESO	40	18
OTROS TIEMPOS		
EMPACADO		6
TRANSPORTE ALMACENAMIENTO		1

TIEMPOS DE PREPARACION POLIPROPILENO MONORIENTADO (H)		
CALIBRE	2,5	
ANCHO	91 cm	
PESO	60 Kg	
MEDIDAS PRODUCTO FINAL	11 CM X 11CM	
ACTIVIDAD	DESEMBOLVEDORA	GUILLOTINA
ALISTAMIENTO Y MONTAJE	5	8
PREPARACION	0	0
TIEMPO PROCESO	35	17
OTROS TIEMPOS		
EMPACADO		6
TRANSPORTE ALMACENAMIENTO		1

5.2.2 ALGORITMO JOHNSON

La regla de Johnson consiste en un algoritmo heurístico, que da la secuencia óptima para el problema de 2 máquinas con n tareas [16]. Su principal objetivo es minimizar el tiempo de procesamiento total del grupo de trabajos. La definición de las prioridades de los artículos que van a procesarse debe seguir algún criterio de optimización, como el coste, el tiempo de cambio, o la importancia de los clientes [17].

A partir del análisis de los tiempos tomados en cada una de las máquinas de la comercializadora López se estableció los tiempos productivos de cada máquina y los tiempos inactivos.

TABLA XIII. TIEMPOS DE PRODUCCIÓN POR MAQUINA Y PRODUCTO

	Actividad	Convetidora (MIN)	Guillotina (MIN)
Polietileno	A	42	23
	B	37	25
	C	44	26
	D	39	27
polipropileno	E	41	24
	F	37	26
	G	44	24
	H	40	25
Tiempo Total			

El algoritmo busca que las máquinas estén el menor tiempo posible detenidas. La secuencia obtenida procesará primero en la máquina 1 aquellos trabajos que deben pasar por la máquina 2, eligiendo los tiempos más breves, Si el tiempo breve es para la primera máquina, se hace el primer trabajo; si es para la segunda, se hace el trabajo al último [18].

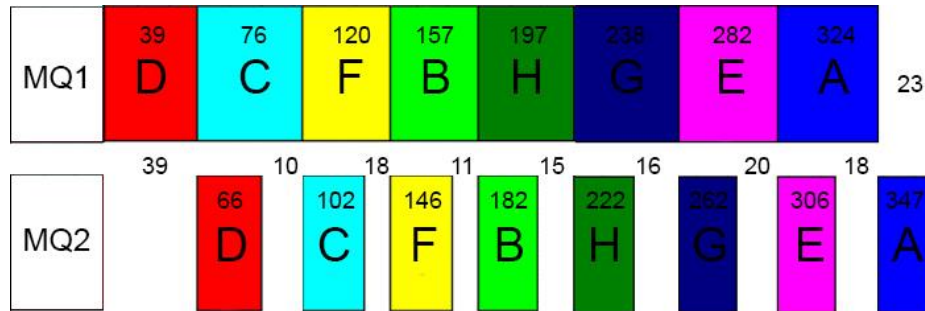


Figura 4. Secuenciación Óptima de Johnson

Resultados arrojados por algoritmo Johnson en el programa Win qsb

Cmax (Tiempo de finalización de todos los trabajos o makespan): 347

MC (Tiempo de finalización medio ponderado): 205,375

Wmax (Tiempo máximo de espera): 282

MW (Tiempo de espera medio ponderado): 139,875

Fmax (Tiempo de flujo máximo): 347

MF (Tiempo de flujo medio ponderado): 205,375

Tmax (Retraso máximo): 347

MT (Retraso medio ponderado): 205,375

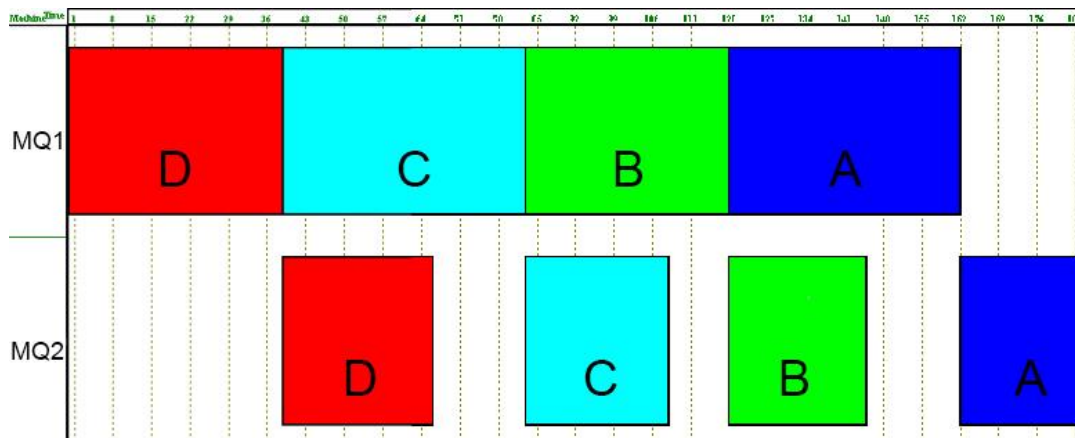
MU (Utilización media de las maquinas): 0,7550

WIP (Trabajo medio en proceso): 4,7349

NT (Numero de trabajos retrasados): 8

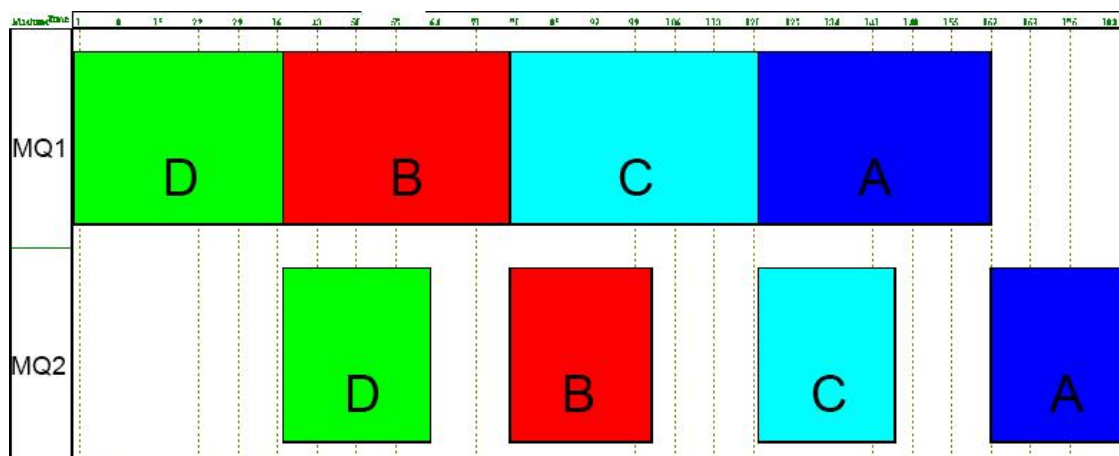
PROPUESTA DE SECUENCIACION

POLIETILENO



01-24-2017	Job	Operation	On Machine	Process Time	Start Time	Finish Time
1	A	1	Machine 1	42	120	162
2	A	2	Machine 2	23	162	185
3	B	1	Machine 1	37	83	120
4	B	2	Machine 2	25	120	145
5	C	1	Machine 1	44	39	83
6	C	2	Machine 2	26	83	109
7	D	1	Machine 1	39	0	39
8	D	2	Machine 2	27	39	66
	Cmax =	185	MC =	126,25	Wmax =	120
	MW =	60,5	Fmax =	185	MF =	126,25
	Lmax =	185	ML =	126,25	Emax =	0
	ME =	0	Tmax =	185	MT =	126,25
	NT =	4	WIP =	2,7297	MU =	0,7108
	TJC =	0	TMC =	0	TC =	0
	Solved by	Johnson's			Criterion:	Cmax

POLIPORPILENO



01-24-2017	Job	Operation	On Machine	Process Time	Start Time	Finish Time
1	A	1	Machine 1	41	121	162
2	A	2	Machine 2	24	162	186
3	B	1	Machine 1	37	0	37
4	B	2	Machine 2	26	37	63
5	C	1	Machine 1	44	77	121
6	C	2	Machine 2	24	121	145
7	D	1	Machine 1	40	37	77
8	D	2	Machine 2	25	77	102
	Cmax =	186	MC =	124	Wmax =	121
	MW =	58,75	Fmax =	186	MF =	124
	Lmax =	186	ML =	124	Emax =	0
	ME =	0	Tmax =	186	MT =	124
	NT =	4	WIP =	2,6667	MU =	0,7016
	TJC =	0	TMC =	0	TC =	0
	Solved by	Johnson's			Criterion:	Cmax

5.3 PLAN MAESTRO DE PRODUCCIÓN

Un plan maestro de producción (MPS) se genera a partir de las estimaciones de la demanda de los productos finales individuales [19], considerando factores tales como inventario, capacidad, disponibilidad de los materiales, tiempo de producción, entre otros para hacer esto posible fue necesario generar un pronóstico sobre la demanda con el modelo de ARIMA mediante el software XLSTAT, partiendo de tomar la demanda histórica como un conjunto (no desagregado) a fin de darle sentido al pronóstico, una vez obtenido este, se efectuó la desagregación en dos referencias de polímeros en unidades kilos/mes, los datos obtenidos de la secuenciación y la demanda pronosticada se plasmaron en un (MPS) calculando la capacidad instalada, definiendo un sistema de producción a partir del modelo de Johnson pues es aplica para n trabajos en dos máquinas.

TABLA XIV. PORCENTAJE DE REFERENCIAS DE LA DEMANDA PRONOSTICADA

MES	Unidades Pronosticadas	Polietileno 70%	Polipropileno 30%
enero	5918	4.143	1.775

febrero	7245	5.072	2.174
marzo	10294	7.206	3.088
abril	13271	9.290	3.981
mayo	10494	7.346	3.148
junio	10693	7.485	3.208
julio	15098	10.569	4.529
agosto	12087	8.461	3.626
septiembre	14531	10.172	4.359
octubre	14433	10.103	4.330
noviembre	13671	9.570	4.101
diciembre	17008	11.906	5.102
Unidades a producir	144.743	101.320	43.423

TABLA XV. PLAN MAESTRO DE PRODUCCION

		enero				febrero				marzo			
Semanas		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Politileno	Inventario Inicial	500	500	1.990	720	1.986	3.099	4.156	3.283	4.532	5.277	4.918	5.961
	Unidades Pronosticadas	0	1.381	1.381	1.381	1.268	1.268	1.268	1.268	1.801	1.801	1.801	1.801
	Pedidos de clientes	0	1.710	1.770	1.734	2.087	2.068	1.404	1.901	2.405	2.159	2.108	2.857
	Inventario Final	500	1.990	720	1.986	3.099	4.156	3.283	4.532	5.277	4.918	5.961	4.353
	MPS	0	3.200	500	3.000	3.200	3.125	530	3.150	3.150	1.800	3.150	1.250
Polipropileno	Inventario Inicial	500	1.650	1.367	3.759	3.516	2.621	2.135	4.683	3.869	2.988	3.413	2.510
	Unidades Pronosticadas	0	444	444	444	543	543	543	543	772	772	772	772
	Pedidos de clientes	0	733	758	743	895	886	602	815	1.031	925	903	1.225
	Inventario Final	1.650	1.367	3.759	3.516	2.621	2.135	4.683	3.869	2.988	3.413	2.510	3.185
	MPS	1.150	450	3.150	500		400	3.150		150	1.350		1.900

abril				mayo				junio				julio			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
4.353	4.371	3.898	3.576	4.403	3.832	5.146	5.042	3.603	4.713	4.801	3.920	1.585	1.392	1.365	1.523
2.322	2.322	2.322	2.322	1.836	1.836	1.836	1.836	1.871	1.871	1.871	1.871	2.642	2.642	2.642	2.642
2.113	1.859	2.067	1.765	2.146	1.372	2.304	1.831	2.040	3.062	2.895	2.587	1.461	2.603	2.114	2.568
4.371	3.898	3.576	4.403	3.832	5.146	5.042	3.603	4.713	4.801	3.920	1.585	1.392	1.365	1.523	1.381
2.340	1.850	2.000	3.150	1.575	3.150	2.200	397	3.150	3.150	2.014	252	2.450	2.615	2.800	2.500
3.185	2.990	3.294	3.449	2.904	3.559	2.772	2.734	5.097	4.633	3.321	3.566	3.083	2.651	2.054	1.867
995	995	995	995	787	787	787	787	802	802	802	802	1.132	1.132	1.132	1.132
906	797	886	756	920	588	987	785	874	1.312	1.241	1.109	626	1.115	906	1.101
2.990	3.294	3.449	2.904	3.559	2.772	2.734	5.097	4.633	3.321	3.566	3.083	2.651	2.054	1.867	1.975
800	1.300	1.150	450	1.575		950	3.150	410		1.486	626	700	535	946	1.240

agosto				septiembre				octubre				noviembre				diciembre			
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.381	1.354	1.403	1.642	1.342	1.347	1.480	20	0	75	127	32	106	2	42	1.102	45	68	42	27
2.115	2.115	2.115	2.115	2.543	2.543	2.543	2.543	2.526	2.526	2.526	2.526	2.392	2.392	2.392	2.392	2.976	2.976	2.976	2.976
2.227	2.367	2.062	2.300	2.695	2.568	3.060	3.352	2.244	3.148	2.108	2.266	2.404	3.510	3.130	3.107	2.798	2.459	3.465	2.996
1.354	1.403	1.642	1.342	1.347	1.480	20	0	75	127	32	106	2	42	1.102	45	68	42	27	31
2.200	2.416	2.354	2.000	2.700	2.700	1.600	3.332	2.600	3.200	2.431	2.600	2.300	3.550	4.190	2.050	3.000	2.950	3.450	3.000
1.975	2.053	1.968	1.901	2.060	1.905	1.835	2.023	1.027	175	0	264	321	671	457	-839	30	4	29	24
907	907	907	907	1.090	1.090	1.090	1.090	1.082	1.082	1.082	1.082	1.025	1.025	1.025	1.025	1.276	1.276	1.276	1.276
954	1.015	884	986	1.155	1.100	1.311	1.436	962	1.349	904	971	1.030	1.504	1.342	1.332	1.199	1.054	1.485	1.284
2.053	1.968	1.901	2.060	1.905	1.835	2.023	1.027	175	0	264	321	671	457	-839	30	4	29	24	30
1.032	930	839	1.145	1.000	1.030	1.500	440	230	1.175	1.346	1.140	1.380	1.290	46	2.200	1.250	1.300	1.480	1.290

6. RESULTADOS

Se rechaza la hipótesis debido a que los datos del pronóstico no cuentan con una distribución normal, por lo tanto no influye en las decisiones de la empresa pero si muestra la importancia de generar un pronóstico de la demanda.

Con el desarrollo del método de secuenciación Johnson se evidenció

- el cuello de botella del proceso es generado por la máquina convertidora retrasando 0,3 minutos por cada kilo, acumulando 3,5 horas por cada 9 trabajadas.

- Que el índice de inactividad de la GUILLOTINA sería igual a 42% respecto a la máquina convertidora
- La máquina convertidora permanece activa en un 93% de la jornada diaria
- la nueva secuenciación proporciona una optimización de tiempo no muy relevante pues es aproximadamente 8 minutos por cada 9 horas.
- La optimización lograda mediante el método Johnson radica en costes pues sobre estos índices de inactividad se pueden tomar medidas de control

REFERENCIAS

- [1] H. B. Archer. Forecasting demand. International Journal of Tourism Management. Volume 1, Issue 1, Pages 5-12.
- [2] J. Contreras, R. Espinola, F.J. Nogales, y A.J. Conejo. ARIMA models to predict next-day electricity prices, in IEEE Transactions on Power Systems, vol. 18, no. 3, pp. 1014-1020, Aug. 2003. Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1216141&isnumber=27352>
- [3] J. Miranda y W. Ramos. Pronóstico de la tendencia nacional y regional de las enfermedades diarreicas agudas en menores de cinco años de edad en el Perú mediante un modelo ARIMA con el enfoque Box-Jenkins. Revista Peruana de Epidemiología, 14(1), 1-8. (2010). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3989474>
- [4] J. Herrera y G. Hernández. Metodología de un Modelo ARIMA Condicionado para el Pronóstico del PIB. Ma'T7.1J de 2002
- [5] G. Peter Zhang. Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. Neurocomputing, Elsevier, (January, 2003)
- [6] A. Castro. Diseño e implementación de algoritmos de programación de trabajos en máquinas. Escuela De Ingenieros De Sevilla. (Abril 2013)
- [7] M. Cervantes. Nuevos Métodos Meta Heurísticos para la Asignación Eficiente, Optimizada y Robusta de Recursos Limitados Valencia, 2010.

- [8] M. Valenzuela. Departamento de Ingeniería de Sistemas, Instituto Tecnológico de Tepic mireyalisset@yahoo.com.mx Roger Z. Ríos Mercado División de Posgrado en Ingeniería de Sistemas, FIME, UANL roger@uanl.mx
- [9] Bautista Valhond, J. (1993). Procedimientos heurísticos y exactos para la secuenciación en sistemas productivos de unidades homogéneas (contexto JIT. [online] Dialnet Plus. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=12374> [Accessed 8 Jan. 2017].
- [10] Restrepo, J., Bernal, M. and Sarmiento, G. (2012). Aplicación de la heurística de CDS en la secuenciación de n tareas en m máquinas: un caso de estudio. *Scientia et Technica*, 52.
- [11] J.F. Jiménez y R. Sánchez. La capacidad predictiva en los métodos Box – Jenkins y Holt-Winters: una aplicación al sector turístico. *Revista Europea de Dirección y Económica de la Empresa*, vol.15, núm. 3(2006), pp.185-198 ISSN 1019-6838.
- [12] J. Murillo y A. Garrido. Model Forecast of Demand for Business Unit Laboratory Farmacoop, Universidad Militar Nueva Granada.
- [13] F. Cardona y M. González y E. Rivera. Inferencia estadística Módulo de regresión lineal simple. Documento de investigación No. 147. Universidad del Rosario Escuela de Administración Editorial Universidad del Rosario Bogotá D.C. 2013
- [14] P. González. Análisis de Series Temporales: Modelos ARIMA. Departamento de Economía Aplicada III. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad del País Vasco (UPV-EHU)
- [15]: Niebel, B., Freivalds, A. and González Osuna, M. (2004). Métodos, estándares y diseño del trabajo. 1st ed. México: Alfaomega, pp.345-360.
- [16] M. Valenzuela. Departamento de Ingeniería de Sistemas, Instituto Tecnológico de Tepic mireyalisset@yahoo.com.mx Roger Z. Ríos Mercado División de Posgrado en Ingeniería de Sistemas, FIME, UANL roger@uanl.mx
- [17] Castro del Fresno, A. (2013). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE ALGORITMOS DE PROGRAMACIÓN DE TRABAJOS EN MÁQUINAS. 1st ed.[ebook] Sevilla. Available at:

<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/30179/fichero/PFC+Antonio+Luis+Castro.pdf> [Accessed 10 Jan. 2017].

[18] R.B. Chase y F.R. Jacobs. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros: Decimotercera edición. México: editor S.A. DE C.V, 2014, 628 p. ISBN 978-007-352522-8

[19] Devore, J. (2001). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. 1st ed. México, D.F.: Thomson Learning.