

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CIUDAD JUÁREZ**  
**DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**MODELO DE PRONÓSTICOS PARA LA ADQUISICIÓN Y  
CONTROL DE INVENTARIOS PLA Y ABS EN  
IMPRESORAS 3D**

**TESIS**

**QUE PRESENTA:**

**EDER AENDEL FUENTES GUERRERO**

**COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA ADMINISTRATIVA**

**CD. JUÁREZ, CHIH.**

**DICIEMBRE, 2020**



# EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

Cd. Juárez, Chih., 15 de diciembre del 2020.

**C. Eder Aendel Fuentes Guerrero**

**Presente.**

Por este medio me permito hacer de su conocimiento que su **Tesis de Grado** titulada **“MODELO DE PRONÓSTICOS PARA LA ADQUISICIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS PLA Y ABS EN IMPRESORAS 3D”**, que presenta para obtener el grado de **Maestro en Ingeniería Administrativa**, ha sido revisada y aprobada por sus sinodales, por lo que se le autoriza la impresión de los ejemplares reglamentarios.

Así mismo, le comunico que la fecha para sustentar el examen ha sido fijada para el día **17 de diciembre del 2020** a las **12:00 horas** mediante Videoconferencia, por lo que se le agradeceré entregue los ejemplares a la brevedad posible para efectuar los trámites correspondientes.

Sin otro particular de momento, me es grato quedar de usted.

ATENTAMENTE

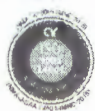
**“Excelencia en Educación Tecnológica”**

**MIA LIZETTE ALVARADO TARANGO**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



LAT/tva\*

Av. Tecnológico # 1340, Fracc. El Crucero. C.P. 32500, Ciudad Juárez, Chihuahua  
Commutador 01 (656) 6 88 25 00, Exts. 2242, 2001 y 2081  
[www.cdjuarez.tecnm.mx](http://www.cdjuarez.tecnm.mx)



Número de registro: RPHI-072  
Fecha de inicio: 2017-04-10  
Término de la certificación: 2021-04-10



# EDUCACIÓN

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita Madre de la Patria"

**LIZETTE ALVARADO TARANGO**  
**JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS**  
**DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**  
**P R E S E N T E.**

Por medio de la presente, se hace constar que la Tesis denominada **"MODELO DE PRONÓSTICOS PARA LA ADQUISICIÓN Y CONTROL DE INVENTARIOS PLA Y ABS EN IMPRESORAS 3D"**, que presenta el(la) alumno(a) **C. Eder Aendel Fuentes Guerrero** con número de control G18112475, para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería Administrativa, ha sido revisada y aprobada en su forma y contenido por los suscritos, por lo que no existe ningún inconveniente para la impresión de la misma.

Se extiende la presente, constancia a petición de él(la) interesado(a) y para los fines legales que a él(ella) convengan, en Ciudad Juárez, Chihuahua, a los veintinueve días del mes de septiembre del año dos mil veinte.

**A t e n t a m e n t e**

"Excelencia en Educación Tecnológica"

**MANUEL ALONSO RODRÍGUEZ MORACHIS**  
**Presidente**

**DIEGO ADIEL SANDOVAL CHÁVEZ**  
**Secretario**

**MANUEL ARNOLDO RODRÍGUEZ MEDINA**  
**Vocal**

**LUZ ELENA TERRAZAS MATA**  
**Vocal Suplente**

LAT/alg



Av. Tecnológico # 1340, Fracc. El Crucero. C.P. 32500, Ciudad Juárez, Chihuahua  
Conmutador 01 (656) 6 88 25 00, Exts. 2242, 2001 y 2081

[www.itcj.edu.mx](http://www.itcj.edu.mx)



Número de registro: RPHL-072  
Fecha de inicio: 2017-04-10  
Término de la certificación: 2021-04-10

## **DEDICATORIA.**

Dedico mi tesis principalmente a mi familia y seres queridos los cuales me apoyaron para poder cumplir con un objetivo más de mi vida. De ante mano también doy las gracias a amigos y compañeros que formaron parte de mi entorno profesional a lo largo de esta grandiosa etapa como lo es la maestría. Así mismo, le dedico esta tesis a mi institución y maestros por sus esfuerzos, dedicación y atención en cada momento que necesite su ayuda, esto para que finalmente pudiera titularme.

## **AGRADECIMIENTOS.**

Inicio con mis agradecimientos a padres y hermanos por ayudarme, motivarme, pero sobre todo enseñarme en cada momento a ser mejor alumno y persona para poder ir aportando a la sociedad.

También doy mis gratitudes a mi director de tesis el Dr. Manuel Rodríguez Morachis por impartir sus consejos, recomendaciones, pero sobre todo compartirme de su experiencia el conocimiento necesario para poder realizar esta tesis de índole científico. De igual forma agradezco al Dr. Diego Sandoval por sus comentarios constructivos entorno a un mejor estudiante de maestría, fue de gran ayuda e importante en cada seminario del posgrado para la realización de mi tesis.

## **RESUMEN.**

Actualmente los pronósticos forman parte importante en la vida cotidiana del ser humano en diversas actividades de índole manufacturero, tecnológico y social. Es por ello que el propósito fundamental de esta tesis es establecer los pronósticos de las demandas confiables para poder satisfacer a la compañía The 3D House<sup>®</sup>. Los principales clientes son los sectores industriales y educativos tales como (universidades, preparatorias, incubadoras de empresas).

En el transcurso de esta investigación se puede establecer una metodología confiable partiendo de los antecedentes de la compañía hasta la verificación del modelo más preciso. Cabe destacar que el análisis fue lo más detallado posible para que nuestro pronóstico se apegara lo posible, revisando una y otra vez los ajustes, métodos y diversas metodologías para saber cuál era factible para la compañía y de esta forma ahorra material y mejorar niveles de inventarios.

En el capítulo 1 y 2 se presenta una breve introducción a los conceptos de pronósticos y a la problemática que presenta The 3D House<sup>®</sup> a al no contar con un método de pronóstico para medir los niveles de inventario de forma confiable; así mismo, en el capítulo 2 se plantean la pregunta de investigación, la hipótesis y los objetivos de la investigación.

En el apartado 3 se presenta el resumen de la bibliografía consultada para los métodos de pronóstico estudiados con la finalidad de dar solución a esta investigación. Se menciona la historia y algunos antecedentes de los métodos de pronósticos, sus características principales, así como su clasificación en pronósticos cuantitativos y cualitativos.

En la sección 4 hace mención a la metodología a seguir paso a paso para conseguir determinar el mejor modelo de pronóstico cuantitativo, y muestra cómo se llega la selección de 3 modelos en base a las características de los datos para hacer comparaciones entre ellos y poder tomar el mejor. Al igual se presentan los materiales y herramientas utilizadas para llevar a cabo la investigación.

Para finalizar, en los capítulos 5 y 6 se muestran los resultados obtenidos tales como las pruebas realizadas para comprobar que los pronósticos calculados son estadísticamente iguales a los reales.

## CONTENIDO.

<b>DEDICATORIA</b>	IV
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	V
<b>RESUMEN</b>	VI
<b>CONTENIDO</b>	VIII
<b>LISTA DE TABLAS</b>	IX
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	X
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	5
2.1 Antecedentes	5
2.2. Descripción del Problema	10
2.3. Preguntas de Investigación	11
2.4. Hipótesis	11
2.5. Objetivo	11
2.6. Justificación	14
2.7. Delimitaciones	12
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	13
3.1 Pronósticos	14
3.2 El Alcance de los Pronósticos	16
3.2.1 Pronósticos Cuantitativos	18
3.2.1.1 Regresión Lineal Simple	20
3.2.1.2 Promedios Móviles	23
3.2.1.3 Suavización Exponencial	27
3.2.1.4 Suavización Exponencial Doble	28
3.2.1.3 Método Holt-Winters	31
3.2.2 Pronósticos Cualitativos	38
3.2.2.1 Método Delphi	39
3.2.2.2 Encuestas de Mercado	40
3.3 Tipos de Demanda	42



3.3.1 Demanda Cíclica	43
3.5.2 Demanda Estable	44
3.4 Capacidad de Producción	47
3.5 Materiales de Inventario	50
3.6 Planeación y Control de Inventarios	52
<b>4. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>54</b>
4.1. Materiales	54
4.2. Métodos	55
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>73</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>76</b>
6.1. Conclusiones	76
6.1.1 Respuesta a la Pregunta de Investigación	77
6.1.2 Respuesta a el Análisis de la Hipótesis	78
6.1.3 Respuesta al Objetivo General	78
6.2. Recomendaciones	79
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>0</b>

## LISTA DE TABLAS.

Tabla 2.1 Costo de Material	6
Tabla 2.2 Demanda Semanal de Venta por Pieza	7
Tabla 2.3 Inventario Mensual	10
Tabla 3.1 Tipos de Demanda	43
Tabla 4.1 Fases de la Metodología Utilizada	56
Tabla 4.2 Venta por Piezas Considerando Ceros	57
Tabla 4.3 Suavización Exponencial con Valores $\alpha=0.2$ , $Y=0.2$	63
Tabla 4.4 Suavización Exponencial con Valores $\alpha=0.3$ , $Y=0.6$	63
Tabla 4.5 Suavización Exponencial con Valores $\alpha=0.2$ , $Y=0.8$	64
Tabla 4.6 Suavización Exponencial con Valores $\alpha=0.4$ , $Y=0.3$	64
Tabla 4.7 Pronósticos Semana 50,51,52 y 53	66
Tabla 4.8 Calculo de la Mediana	68
Tabla 4.9 Estimación de Diferencia	69
Tabla 4.10 Pruebas de Hipótesis	69
Tabla 4.11 Método Wilcoxon para Medianas y Confiabilidad	69
Tabla 4.12 Método Kruskal-Wallis vs Ajuste	70
Tabla 4.13 Análisis de Hipótesis para Medianas	71

## LISTA DE FIGURAS.

Figura 2.1 Grafica de Costos de la Semana Cuatro de cada Mes	8
Figura 2.2 Gráfica de Ventas Semanales	8
Figura 2.3 Comportamiento Gráfico del Consumo de Material	9
Figura 2.4 Impresora 3D de la Compañía The 3D House®	12
Figura 3.1 Mapa Conceptual de los Pronósticos	13
Figura 3.2 Secuencia para Pronosticar	19
Figura 3.3 Gráfica de Promedio Móvil	26
Figura 3.4 Gráfica de Suavización Exponencial	28
Figura 3.5 Ejemplo Gráfico de Holt Winters	32
Figura 3.6 Comportamiento Critico de las Demandas	44
Figura 3.7 Demanda Regular	45
Figura 3.8 Demanda Estacional	45
Figura 3.9 Demanda Creciente	46
Figura 3.10 Demanda Irregular	46
Figura 3.11 Capacidad Incrementalmente de Acuerdo a la Demanda	48
Figura 3.12 Capacidad con Amplio Aumento de Acuerdo a la Demanda	48
Figura 3.13 Capacidad Retrasada con Respecto a la Demanda	49
Figura 4.1 Comportamiento de las Ventas Semanales	58

Figuran 4.2 Análisis del Consumo en Minitab	59
Figura 4.3 Datos de Normalidad Incluyendo los Ceros	60
Figura 4.4 Datos de Normalidad Considerando Uno	61
Figura 4.5 Suavización Exponencial con Menor MAD	67
Figura 4.6 Prueba de Varianza del Consumo vs Ajuste	71
Figura 4.7 Prueba de Medias del Consumo y Ajuste	72

## 1. INTRODUCCIÓN

Los pronósticos son una poderosa herramienta en el proceso de la planeación que ayudan en la toma de decisiones. Se basan directa o indirectamente en estimaciones, por lo que es importante que se establezcan adecuadamente, ya que de otra manera pueden traer consigo resultados que vayan en contra de los intereses de la empresa.

El responsable de establecer los pronósticos deberá adoptar un procedimiento específico tomando en consideración el costo y demanda. Los pronósticos cualitativos son aquellos que utilizan el juicio y la intuición para estimar la demanda futura. Los modelos de pronósticos casi siempre se utilizan para pronósticos a mediano y largo plazo, para dichos modelos se requiere tener datos o información del pasado. El patrón del comportamiento de la información del pasado, continuará en el futuro.

Los pronósticos constituyen la base o el fundamento para cualquier planeación de productos o servicios que se requieren manufacturar, comprar o vender. Es decir, en la medida que las organizaciones cuenten con un pronóstico altamente eficiente (entendiendo como eficiencia la mínima variación que se obtiene del valor pronosticado respecto al valor real en un periodo de tiempo) se incrementará el nivel de servicio, por consiguiente, la satisfacción por parte del cliente (Macias, 2007).

Un modelo de pronósticos ayuda en la toma de decisiones gerenciales relativas a mercadeo, ventas y producción. Los pronósticos brindan información congruente y exacta, la cual es el resultado de la utilización de modelos matemáticos con base en datos históricos del comportamiento de las ventas y el juicio de los ejecutivos representantes de cada departamento involucrado de la empresa.

Durante los últimos años ha surgido una técnica de manufactura que algunos consideran como la nueva Revolución Industrial: la impresión en 3D. Esta tecnología es mejor referenciada como manufactura aditiva (AM, *Additive Manufacturing*, por sus siglas en inglés). Este nombre procede del hecho elemental que el proceso de producción de una parte, pieza o producto se realiza por adhesión de material capa por capa, proceso que se efectúa de manera sucesiva hasta conformar el modelo deseado. Lo anterior simboliza una paradoja si se compara con procesos de desbaste de material como el maquinado (Berman 2012; Vardhan et al. 2014; Pîrjan y Petroşanu 2013).

La forma de producción de una impresora 3D es expresada meramente como la materialización de un objeto, partiendo de un modelo computarizado. Esta tecnología es tan preponderante, que en la actualidad productos como prótesis dentales son producidas a baja escala, beneficiándose con pagos inmediatos y cero inventarios (Berman 2012; Vardhan et al. 2014; Pîrjan y Petroşanu 2013).

Las tecnologías de fabricación por adición, capaces de crear piezas volumétricas en tres dimensiones, se generan desde un programa de diseño 3D. Los archivos se envían a la impresora 3D que funciona gracias a los polímeros que se usan en el proceso. Estos materiales actúan por diferentes medios de manera que solidifican el material capa a capa hasta completar la pieza tridimensional.

Para la creación de un producto es posible que sea necesaria la implementación de uno o más métodos de manufactura. Existen varios métodos de manufactura, algunos ejemplos pueden ser: el maquinado, que incluye procesos de desbaste por corte de viruta, como lo son el fresado y el torneado; acabado de superficies, con procesos representativos, como lo son recubrimiento y el platinado; métodos de unión, convencionales tales como la soldadura. La adopción del método idóneo de manufactura suele obedecer a diferentes criterios, tales como el flujo del proceso o las geometrías del producto (Kalpakjian y Schmid, 2009).

Los materiales disponibles para la impresión 3D han evolucionado desde que se creó esta impresión. Cuando se escucha hablar de impresoras 3D, a menudo se relaciona con la impresión en plástico, pero hay una gran variedad de materiales que se pueden utilizar en una impresora 3D, tales como resinas y filamentos PLA o ABS. Los materiales que usualmente se utilizan para los escantillones son metales y plásticos, generalmente se procesan con operaciones de mecanizado por corte de viruta (Hoffman, 2004).

Desde la perspectiva de los pronósticos, adquirir el material a tiempo ayudará a incrementar las utilidades, debido que se está trabajando en este tipo de modelos aplicados en industrias de este mercado, es por ello que la aplicación puede ayudar a compras y ventas futuras. Desde el punto de vista tecnológico, la manufactura es definida como la modificación física y química, para inferir en sus características geométricas, aspecto y propiedades, inclusive la transformación puede darse al crear ensambles (unir dos piezas o más) (Groover, 2013).

Debido a ser un proceso que pretende aportar al mercado de las impresoras 3D, actualmente se están introduciendo mejoras en las metodologías o modelos de pronósticos para servicios en productos escolares e industriales. El propósito de esta investigación es encontrar el pronóstico necesario para saber cuánto y cuándo comprar material, con la finalidad de saber en qué meses del año hay mayor demanda y disminuir inventario. El comprar e invertir mayor cantidad para ofrecer el producto es primordial, esta investigación toma lugar en una compañía en crecimiento: The 3D House<sup>®</sup>, en Ciudad Juárez.



## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

En este capítulo se presenta el planteamiento del problema, la pregunta de investigación, la hipótesis, el objetivo, así como la justificación. Este capítulo está destinado a presentar el panorama y el propósito del estudio que se plantea en esta investigación. El presente trabajo pretende responder y aportar información a la comunidad educativa e industrial en relación con sus niveles de inventario, modelos de pronósticos aplicados y por supuesto darle la respectiva solución de forma general a la problemática.

### **2.1 Antecedentes.**

La compañía The 3D House<sup>®</sup>, donde se pretende realizar esta investigación, es una empresa que se dedica principalmente al diseño, impresión de prototipos universitarios y a proveer trabajos industriales y adornos en 3D a restaurantes. Recientemente se adquirió la oportunidad de manufacturar productos para aplicaciones domésticas.

En la Tabla 2.1 se muestran los costos por gramo, así como los costos que se generan al momento de cobrar una pieza, considerando el dólar norteamericano al momento de comprar el material.

Tabla 2.1 Costos de Material.

<b>Condiciones de Costos</b>	
Costo por gramo	US\$ 0.05
Costo por rollo de 600 gramos	US\$ 30
Costo de diseño	US\$ 7
Costo por mantenimiento de maquinaria	US\$ 2
Costo por tiempo excedido en proceso a 1 hora	US\$ 1

El inventario es el material o los suministros que se tienen para el uso o las ventas futuras. En general, se trata de bienes terminados que esperan el pedido de un cliente, pero puede tratarse también de bienes o materiales destinados a la producción o a la transformación en bienes terminados. Para el sector de manufactura, dichos bienes son principalmente materiales: materias primas, unidades compradas, productos semiterminados y terminados, refacciones y materiales de consumo.

El control de inventarios a tiempo, tiene como base la idea que se adquieren los inventarios y se insertan en la producción en el momento en que se necesitan y de forma adecuada. Esto requiere de compras eficientes, proveedores confiables y un sistema eficiente de manejo de inventarios.

La tabla 2.2 muestra la demanda que se presentó de enero a noviembre de 2018 considerando con cero las semanas sin ventas.

Tabla 2.2 Demanda Semanal de Venta por Pieza.

Semanas	Consumo	Semanas	Consumo
1	33	26	8.1
2	0	27	0
3	53	28	50
4	70	29	44.5
5	36	30	44.5
6	0	31	5.2
7	5.6	32	23.1
8	9.2	33	66.2
9	14.2	34	78.6
10	21.4	35	80.5
11	44.1	36	140.8
12	51.3	37	260.3
13	77.2	38	180
14	60.6	39	205.9
15	180.6	40	198.3
16	60.2	41	154.2
17	33.1	42	19.6
18	21	43	244.3
19	88.4	44	5.5
20	50	45	60.2
21	50	46	236.8
22	28.6	47	44.5
23	54.2	48	185.6
24	14	49	253.2
25	24.4	50	-
		51	-
		<b>TOTAL</b>	<b>3670</b>

The 3D House<sup>®</sup> puede reducir sus costos de venta por prototipo a clientes mediante un proceso administrativo más eficiente o análisis de pronósticos, esto se refiere a factores internos (figura 2.1). Se pueden reducir las materias primas necesarias gracias a una mayor eficiencia interna, pero esto se refiere mayormente a factores externos. Con un trabajo en equipo que incorpore

proveedores de confianza, se puede reducir la cantidad de materias primas, respecto a los artículos terminados.

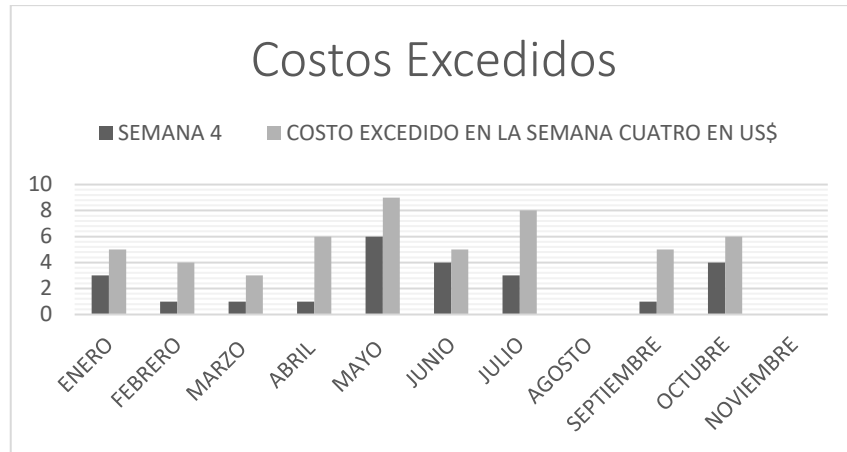


Figura 2.1 Gráfica de Costos de la Semana Cuatro de Cada Mes.

Con un trabajo en equipo que incorpore proveedores de confianza, se puede reducir la cantidad de materias primas, respecto a los artículos terminados. Es posible decir que, si se reabastecen con rapidez, el tiempo muerto de quedarse sin material existente y de la misma manera se reduce los inventarios de este tipo.

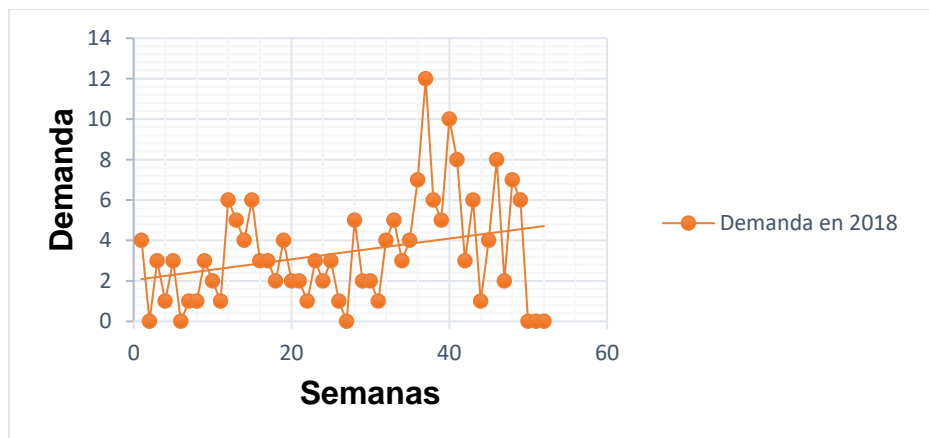


Figura 2.2 Gráfica de Ventas Semanales.

Mediante el análisis gráfico se puede observar una tendencia ascendente a partir de las primeras semanas de agosto, lo que soporta la idea que la metodología de pronósticos es adecuada para años posteriores.

Teniendo como consideración cuánto material se compra y se consume, se podrá hacer el análisis costo/beneficio correspondiente en los capítulos posteriores. La tecnología actualmente se encuentra en un punto de maduración que podría representar su extensión masiva en el sistema productivo, gracias al vencimiento de las patentes, la disminución de precios de los equipos y la evolución del conocimiento asociado a esta tecnología y a los nuevos materiales.

Es importante reconocer que cualquier nueva tecnología conlleva una metodología que de ahí parte una variable, por lo tanto, para la falta de un pronóstico adecuado la variable principal sería gramos. En la figura 2.3 se aprecia el comportamiento del consumo de gramos en el transcurso de las semanas.

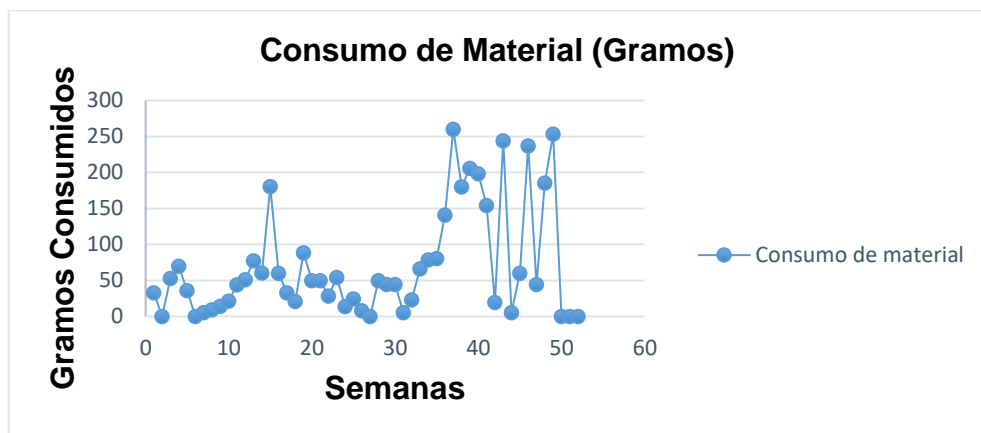


Figura 2.3 Comportamiento Gráfico del Consumo de Material.

## 2.2 Descripción del Problema

La compañía The 3D House® cuya área es la tecnología de impresión 3D, tiene como principal mercado las preparatorias, universidades e industrias. La problemática que surge es tener falta de material en temporada de demanda, (tabla 2.3).

Con base en la problemática anterior y sabiendo que no se cuenta con un modelo o análisis para establecer una demanda anticipada en apego a la política de inventarios, se hace mención a una metodología con pronósticos, haciendo alusión a llevar prototipos a diversos mercados e incrementar las utilidades. Con esta metodología se pretende disminuir la incertidumbre sobre el futuro, permitiendo estructurar planes y acciones congruentes con los objetivos de la compañía que permita también tomar acciones correctivas apropiadas y a tiempo.

Tabla 2.3. Inventario Mensual.

<b>Rollos de material por colores</b>	<b>Cantidad por rollo (gramos)</b>	<b>Consumo en apego a la demanda de producción</b>
Blanco	600	<b>2272.18 gramos</b>
Azul	600	
Verde	600	
Rojo	600	
Negro	600	
Hueso	600	

### **2.3 Preguntas de Investigación**

Durante el desarrollo de la investigación surge la pregunta:

¿Cuál es el mejor modelo de pronósticos de las demandas, para establecer las cantidades a comprar en apego a la demanda de producción y política de inventarios?

### **2.4 Hipótesis**

Mediante el análisis de la demanda de productos impresos en 3D, con modelos de pronósticos estadísticos en apego a la política de inventarios, se determinan de una forma confiable las adquisiciones para mantener los niveles de inventarios adecuados.

### **2.5 Objetivo**

Definir cuál modelo de pronósticos cuantitativo es el que mejor se apega a la demanda histórica de los datos disponibles, de tal manera que mantenga los inventarios de materia prima en niveles adecuados.

### **2.6 Justificación**

Esta investigación tiene su justificación en el hecho que no existe en la empresa bajo investigación alguna metodología de pronósticos para la adquisición de materia prima que mantenga los inventarios de manera adecuada en apego a la demanda de producción.

## 2.7 Delimitaciones

Esta investigación será efectuada dentro la compañía The 3D House<sup>®</sup>, para manufacturar los prototipos, en impresoras 3D modelo *XYZ Printing<sup>®</sup> DaVinci 2.0 Duo 3D printer blue<sup>®</sup>* (ver figura 2.4).



Figura 2.4 Impresora 3D de la Compañía The 3D House<sup>®</sup>.



### 3 MARCO TEÓRICO.

En este capítulo se hará una revisión bibliográfica de los temas relacionados, mediante un mapa conceptual haciendo alusión a los pronósticos, ya que serán de gran importancia para la base de la investigación, partiendo de los pronósticos hasta su planeación y control de inventarios como se describe posteriormente.

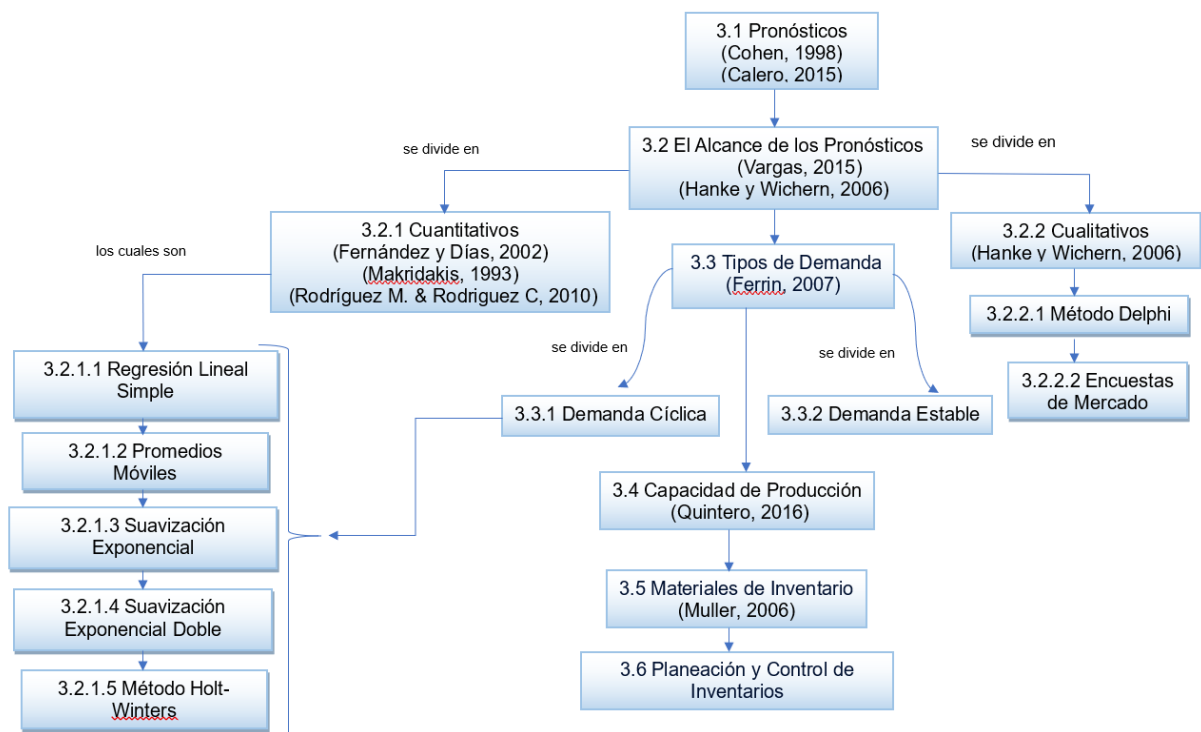


Figura 3.1 Mapa Conceptual de los Pronósticos.

### 3.1 Pronósticos

Los pronósticos forman parte del arte y la ciencia de predecir acontecimientos futuros. Se conoce que nunca ocurrirá exactamente lo pronosticado; entonces, ¿para qué pronosticar? Se lleva a cabo porque es necesario una cierta base, aun sea mínima, es decir, un criterio o una justificación para la toma de decisiones (Cohen, 1998).

El pronóstico es un procedimiento objetivo en el que se utiliza información recabada en un lapso, para extrapolarlo en el tiempo. Se ha encontrado que el método analizado usa la subjetividad para determinar uno de los datos de entrada del modelo por pronósticos, de modo que se ajuste a las condiciones de la serie. (Alarcón, 1997).

Los métodos de pronósticos pueden ser de dos grandes grupos: a) los que están basados en técnicas de demanda derivada, y b) los métodos que están basados en series de tiempo. Los primeros se enfocan en variables de demanda de productos. Son nombrados así por la forma como se desarrollan los datos de la demanda para inferir el comportamiento de la misma. Estos métodos son muy sencillos y se fortalecen con el análisis de la variable y el conocimiento que se tenga del mercado y de las variables externas. Los segundos son más estructurados y permiten predecir el comportamiento de una variable en el futuro, de acuerdo con métodos o modelos que tienen en cuenta la tendencia, el ciclo, la estacionalidad y el azar (Alarcón, 1997).

También es importante resaltar que los pronósticos se clasifican en relación con el tiempo. Por ejemplo, a corto plazo tiene un lapso de hasta un año, pero es generalmente menor a tres meses. Se utiliza para planear las compras, programación de planta, niveles de fuerza laboral, asignaciones de trabajo y niveles de producción. A mediano plazo puede ser un pronóstico de rango mediano, generalmente con un lapso de tres meses a tres años. Es valioso en la planeación de producción y presupuestos, planeación de ventas, presupuestos de efectivo, y el análisis de varios planes de operación. Los pronósticos de largo plazo generalmente con lapsos de tres años o más, los pronósticos a largo plazo se utilizan para planear nuevos productos desembolsos de capital, localización e instalaciones o su expansión, y la investigación y el desarrollo (Calero, 2000).

Es importante resaltar que el pronóstico debe calcularse mediante la utilización de información histórica, lo que conocemos como datos, debido a que pueden existir casos en los que no se cuente con ella y, aun así, sea posible generar pronósticos. No se debe confundir con el análisis de datos, que también es útil como apoyo a la toma de decisiones. Estos métodos y técnicas se utilizan para organizar y presentar la información obtenida de un conjunto de datos de forma adecuada y entendible, con el objeto de describir las características de las variables e interpretar su comportamiento para su aplicación dentro de un modelo de pronóstico (Calero, 2000).

### **3.2 El Alcance de los Pronósticos.**

Actualmente la gran preocupación de las compañías radica en tener alta exactitud en sus inventarios. Esta inquietud hace que muchos profesionales se enfoquen únicamente en lo que se tiene almacenado, y dejen de lado el control sobre el flujo de entradas y salidas de mercancía.

Ante esta problemática, existen diversas técnicas que una empresa puede emplear para adquirir la cantidad de inventario necesario que a su vez le permita alcanzar o superar sus propios objetivos. Aquí resulta la importancia de señalar que estas técnicas se pueden adoptar a las circunstancias, independientemente del giro de negocio, la facturación, la naturaleza de la empresa o si es local o internacional (Vargas, 2015).

Dentro de las opciones que tiene una empresa para controlar su inventario, la reposición con base en mínimos y máximos se constituye como una buena alternativa. La razón de su amplia adopción se debe a que este método es efectivo cuando se hace referencia a productos tales como repuestos, materiales, partes y componentes del sector industrial, donde los parámetros de consumo están claramente establecidos, y normalmente el pedido máximo responde al consumo promedio semanal o mensual de determinado producto (Vargas, 2015).

Vargas (2015) hace mención que otra forma de controlar los inventarios responde a lo estipulado en el presupuesto. Así, se compra y se consume con base en lo presupuestado. Una tercera alternativa, y acaso la técnica más

empleada y que presenta mejores resultados, es el trabajo con pronósticos de demanda, que es básicamente un sistema de previsión de un hecho futuro que por su naturaleza es incierto y aleatorio.

Las empresas comerciales se ven beneficiadas con la implementación de pronósticos financieros para administrar bien sus recursos económicos y todas las utilidades que aportan al desarrollo y bienestar de la empresa. Asimismo, se ven beneficiadas a la hora de hacer una inversión, porque con base en datos históricos conocen su posible futuro acertado en cálculos estadísticos. Los pronósticos son una herramienta útil dentro de la administración de las empresas comerciales y sus formas de aplicación son muy variadas (Calero, 2000).

Es recomendable elaborar un pronóstico de ventas para cada producto (incluyendo cada uno de los artículos o presentaciones que se tengan), línea de productos y para la empresa en su conjunto. De esa manera, es posible tomar decisiones más acertadas (especialmente en lo relacionado con producción, aprovisionamiento y flujo de mercancía) además, se podrá realizar un mejor monitoreo y control al momento de cruzar los resultados del esfuerzo de mercadotecnia con el cumplimiento del pronóstico de ventas (Thompson, 2006).

En la experiencia de la mayoría de los negocios regionales, sean estos del giro de producción o de servicios, las decisiones tomadas en el presente que impactaran en el futuro se respaldan en la intuición y no es que esto sea malo, pero bajo el contexto actual en el cual se mueven todos los mercados. La

incertidumbre es parte de la operación de las empresas en el día a día, es por ello que se termina por respaldar la intuición en lo que ahora se le conoce como modelos de pronósticos, cuya aplicación puede ser en mercados, industrias de cualquier giro (Hanke y Wichern, 2006).

Para que las empresas puedan reducir este grado de incertidumbre una alternativa es deben respaldar sus decisiones en algo más que la intuición. Deben respaldarlo en la elaboración de pronósticos correctos y precisos que sean suficientes para satisfacer las necesidades de planeación de la organización, mediante análisis de datos y la selección del modelo que más se apegue a la necesidad de la compañía (Hanke y Wichern, 2006).

### **3.2.1 Pronósticos Cuantitativos.**

Los fundamentos de la metodología cuantitativa podemos encontrarlos en el positivismo que surge en el primer tercio del siglo XIX como una reacción ante el empirismo que se dedicaba a recoger datos sin introducir los conocimientos más allá del campo de la observación (Fernández y Días, 2002).

La clave del positivismo lógico consiste en contrastar hipótesis probabilísticamente y en caso de ser aceptadas y demostradas en circunstancias distintas, a partir de ellas elaborar teorías generales. La estadística dispone de instrumentos cuantitativos para contrastar estas hipótesis y poder aceptarlas o rechazarlas con una seguridad determinada. Por tanto, el método científico, tras

una observación, genera una hipótesis que contrasta y emite posteriormente unas conclusiones derivadas de dicho contraste de hipótesis (Fernández y Días, 2002).

Es por ello que el método cuantitativo está basado en una investigación analista, la cual basa sus estudios en números estadísticos para dar respuesta a alguna problemática. La investigación cuantitativa tiene como objetivo obtener respuestas de la población a preguntas específicas. La finalidad de dichas encuestas sería para la toma de decisiones exactas y efectivas que ayuden a alcanzar objetivos dentro de una compañía, pero todo esto ayuda para recabar datos históricos y poderlos introducir en algún modelo estadístico como se muestra a continuación la secuencia para la selección de algún modelo estadístico (figura 3.2) (Monje, 2011).



Figura 3.2 Secuencia para Pronosticar.

Actualmente, muchos programas permiten el cálculo de los coeficientes de autocorrelación, sus gráficos e interpretación. Si se pueden reconocer patrones de tendencia, cíclicos o estacionales en los datos históricos entonces, se pueden

seleccionar las técnicas más adecuadas para dichos patrones. Por otro lado, el grupo de técnicas cuantitativas causales, como los métodos de regresión, requieren de una identificación causal a *priori* y análisis estadístico de las variables independientes que servirán para pronosticar y tomar decisiones (Makridakis, 1993).

Dentro de este apartado los métodos causales se emplean cuando se dispone de datos históricos y se puede identificar la relación entre el factor que se intenta pronosticar y otros factores externos o internos. Estas relaciones se expresan en términos matemáticos y suelen ser complejas. Los métodos causales proporcionan las herramientas de pronósticos más avanzados y son excelentes para proveer los puntos de cambio en la demanda y preparar pronósticos a largo plazo. Aunque existen muchos métodos causales, se analizará en este apartado los más conocidos y los que utilizan comúnmente entre esos métodos.

### **3.2.1.1 Regresión Lineal Simple.**

La regresión lineal es un método estadístico para desarrollar una relación analítica definida entre dos o más variables. El supuesto, como modelos causales, es que una de las variables causa que la otra se mueva. Con frecuencia la variable independiente, o causal, se denomina indicador líder (Krajewski et al. 2009).

En los modelos de regresión lineal la variable dependiente, está relacionada con una o más variables independientemente por medio de una



ecuación lineal. La variable dependiente es la que la persona a cargo de pronosticar lleva a cabo el análisis (Krajewski et al. 2009).

$$Y = a + bx \quad (3.1)$$

Donde:

$Y$  es la variable dependiente.

$x$  es la variable independiente.

$a$  es la intersección de la recta con el eje  $Y$ .

$b$  es la pendiente de la recta.

Anteriormente se determinaron  $a$  y  $b$ , por el método de mínimos cuadrados, la ecuación sería:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (3.2)$$

$$b = \frac{N(\sum_{i=1}^N X_i Y_i) - (\sum_{i=1} X_i)(\sum_{i=1} Y_i)}{N(\sum_{i=1} X_i^2) - (\sum_{i=1} X_i)^2} \quad (3.3)$$

Donde:

$a$  es la intersección de la recta con el eje  $Y$

$b$  es la pendiente de la recta.

$\bar{y}$  es el promedio de todas las  $y$ .

$\bar{x}$  es el promedio de todas las  $x$ .

$y$  es el valor  $y$  cada punto de datos.

$n$  es el número de datos.

$\hat{Y}$  valor de la variable dependiente calculada con la ecuación de regresión. Dado que se basan en información externa, los métodos de pronósticos causales en ocasiones se determinan pronósticos extrínsecos.

En la actualidad existen diversas aplicaciones de regresión línea porque es una de los métodos más utilizados para diferentes proyectos laborales y académicos tales como menciona (WU, C.J.; et al, 1998) en la aplicación de modelos de regresión para predecir el voltaje armónico y la tendencia de crecimiento actual de los datos de medición en subestaciones secundarias. Los valores de predicción son importantes y pueden usarse para la planificación de transformadores. Los transformadores que alimentan a diferentes tipos de clientes revelan diferentes características armónicas. Mientras que el modelo de regresión lineal es adecuado para la distorsión de tensión armónica, el modelo de regresión exponencial no lineal es mejor para la corriente. Todas las distorsiones de voltaje armónico de los transformadores siguen con distorsiones de corriente armónica, es decir, las cargas del alimentador son fuentes armónicas. Los valores armónicos de predicción del análisis de regresión son más bajos que los del método de tasa de dispersión promedio.

### **3.2.1.2 Promedios Móviles.**

La utilización de esta técnica supone que la serie de tiempo es estable, ya que los datos que la componen se generan sin variaciones importantes entre un dato y otro, haciendo alusión al error aleatorio = 0, aunque muestren un crecimiento o disminución lo hagan con una tendencia constante. Cuando se usa el método de promedios móviles se está suponiendo que todas las observaciones de la serie de tiempo son igualmente importantes para la estimación del parámetro a pronosticar (Reyes, 2009).

$$\text{Promedio móvil} = \frac{\sum(n \text{ valores de datos recientes})}{n} \quad (3.4)$$

El promedio móvil simple es un promedio de los valores observados del pasado en el cual los valores observados de todos los periodos anteriores tienen el mismo peso relativo (Hernández y Téllez, 2016).

$$F_{t+1} = \frac{\sum_{i=1}^T X_i}{T} \quad (3.5)$$

Donde:

$F_{t+1}$  es el pronóstico del periodo  $t + 1$ .

$X_i$  es el valor observado en el periodo  $i$ .

$T$  es el número de periodos de los valores observados.

El promedio móvil simple combina los datos de los valores observados de la mayor parte de los periodos recientes, siendo un promedio de ellos el pronóstico para el periodo siguiente. El promedio se mueve en el tiempo en el sentido que, al transcurrir un periodo, el valor observado del periodo más antiguo se descarta, y se agrega el valor observado para el periodo más reciente para la siguiente operación (Hernández y Téllez, 2016).

$$F_t = \frac{X_{t-n} + X_{t-(n-1)} + \dots + X_{t-1}}{n} \quad (3.6)$$

$$F_{t+1} = \frac{\sum_{i=1}^n X_{t-(n-i)}}{n} = \frac{1}{n} X_{t-(n-1)} + \frac{1}{n} X_{t-(n-2)} + \dots + \frac{1}{n} X_{t-(n-n)} = F_t + \frac{X_t - X_{t-n}}{n} \quad (3.7)$$

Donde:

$F_{t+1}$  es el pronóstico por promedio móvil simple para  $t + 1$  periodos.

$X_t$  es el valor observado en el periodo  $t$ .

$n$  es el número de periodos empleados en la media móvil.

El promedio móvil ponderado es un modelo de promedio móvil (ecuación 3.7) que incorpora algún peso de los valores observados anteriores, distinto a un peso igual para todos los periodos anteriores considerados (Hernández y Téllez, 2016).

$$t; 0 \leq C_t \leq 1.0; \sum_{t=1}^n C_t = 1.0 \quad (3.8)$$

Donde:

$X_t$  es el valor observado en el periodo.

$C_t$  es la ponderación en el periodo.

$n$  es el número de periodos empleados en la media ponderada.

De esta manera, se utiliza como pronóstico para el siguiente periodo el promedio de los  $n$  valores de los datos más recientes de la serie de tiempo. El término móvil indica que conforme se tienen una nueva observación de la serie de tiempo, se reemplaza la observación más antigua de la ecuación y se calcula un nuevo promedio. El resultado es que el promedio se moverá, esto es, conforme se tengan nuevos datos y se vayan sustituyendo en la fórmula, el valor del promedio irá modificándose.

No existe una regla específica que nos indique cómo seleccionar la base del promedio móvil  $n$ . Si la variable a pronosticar no presenta variaciones considerables, esto es, si su comportamiento es relativamente estable en el tiempo, se recomienda que el valor de  $n$  sea grande. Por el contrario, es recomendable un valor de  $n$  pequeño si la variable muestra patrones cambiantes. El método de promedios móviles es útil cuando no se tiene la suficiente

información y cuando no se conoce otro método más sofisticado y que permita predecir con mayor confianza, en la figura 3.3 se muestra el comportamiento de la demanda (Reyes, 2009).

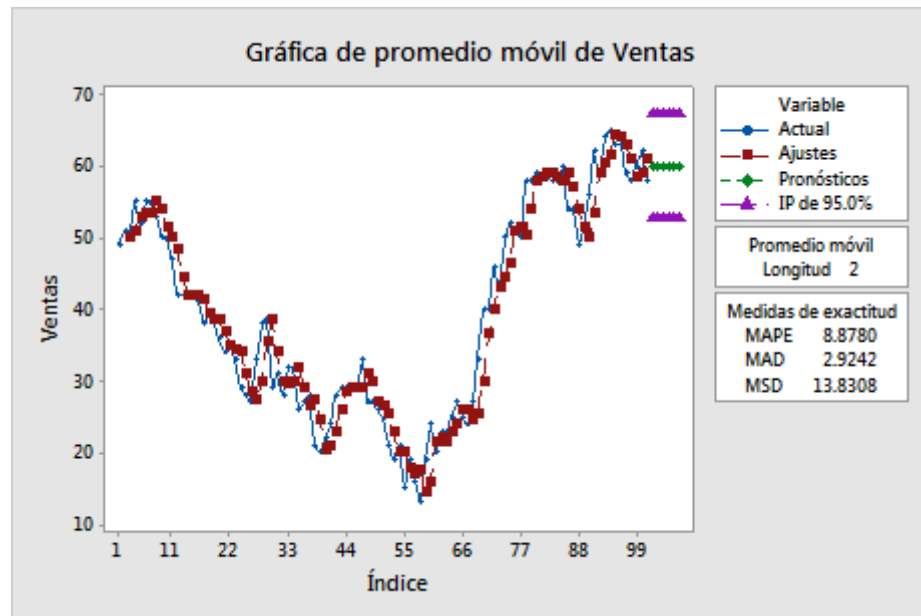


Figura 3.3 Gráfica de Promedio Móvil.

Para aplicaciones de métodos estadísticos tal como promedio móvil en cuestiones prácticas como hace mención (Sánchez, 2012) son de gran utilidad ya que el control de los pronósticos facilita el monitoreo de procesos industriales para detectar condiciones fuera de control e identificar las oportunidades para mejorar el desempeño del modelo, tal es el caso en pruebas de señal de rastreo como una técnica sencilla para seleccionar un modelo para aplicar una serie de tiempo, consiste en graficar los datos históricos en un diagrama de dispersión e identificar la función matemática que más se les parezca.

### **3.2.1.3 Suavización Exponencial.**

Los métodos de suavizamiento son adecuados para series de tiempo estables, para aquellas series que no muestran efectos importantes de tendencia, cíclicos o estacionales porque se adaptan muy bien a los cambios en el nivel de la serie de tiempo. Sin embargo, sin alguna modificación, no funcionan muy bien cuando hay variaciones importantes de tendencia, cíclicas o estacionales.

La suavización exponencial simple, cuya fórmula se obtiene al usar la ecuación de promedios móviles simples, pero suponiendo que solo se tiene el valor más reciente y el pronóstico hecho para el mismo periodo, se usa en el lugar del valor más antiguo del pronóstico, el valor del pronóstico hecho para el último periodo, las fórmulas son: (Hernández y Téllez, 2016).

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)F_t \quad (3.9)$$

$$\alpha = \frac{2}{(n + 1)} \quad (3.10)$$

Donde:

$F_{t+1}$  es el pronóstico para el periodo  $t + 1$ .

$F_t$  es el pronóstico para el periodo  $t$  ó último periodo.

$X_t$  es el valor observado en el periodo  $t$  ó último periodo.

$n$  es el número de valores observados.

Medina - Zárate (2015) utilizó el método de suavización exponencial para obtener mejores resultados en las demandas de dos sectores distintos de la industria, tales como de evaporadores y condensadores. En ambos casos se obtuvieron datos confiables y muy cercanos a las demandas reales, en la figura 3.4 se muestra el comportamiento de la suavización exponencial.

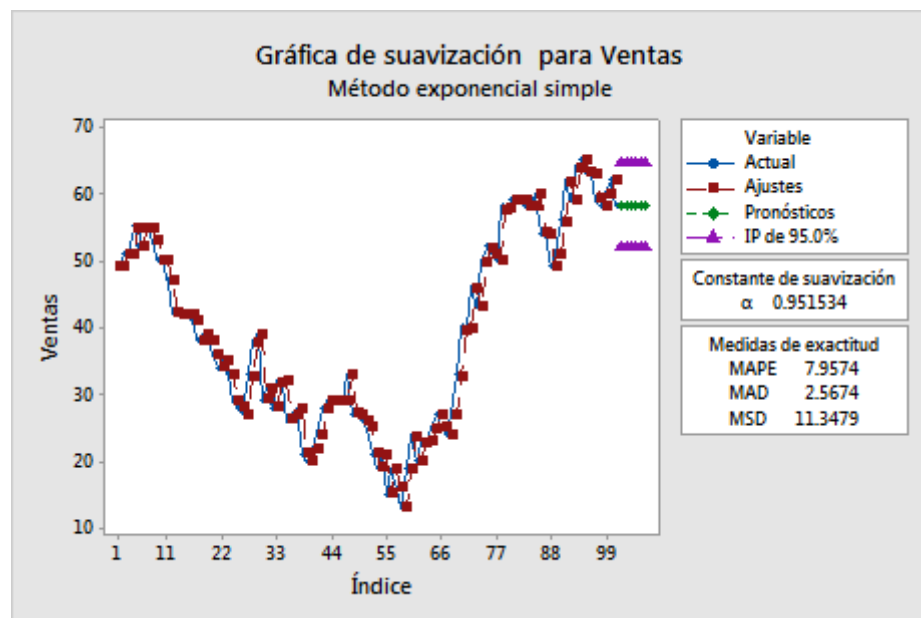


Figura 3.4 Gráfica de Suavización Exponencial.

#### 3.2.1.4 Suavización Exponencial Doble.

La suavización exponencial doble, en la suavización exponencial simple se usa una serie de datos que contenga una tendencia consistente, los pronósticos se retrasaran de la tendencial. En la suavización exponencial doble se utilizan las siguientes ecuaciones para suavizar (Hernández y Téllez, 2016).



$$S_t = \alpha X_t + (1 + \alpha)(S_{t-1} + B_{t-1}) \quad (3.12)$$

$$B_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)B_{t-1} \quad (3.13)$$

$$F_{t+k} = S_t + KB_t \quad (3.14)$$

$$\alpha = \frac{2}{(n + 1)} \quad (3.15)$$

$$\beta \leq \left(\frac{2}{\alpha} - 1\right) = \sqrt{\left(\frac{2}{\alpha} - 1\right)^2} - 1 \quad (3.16)$$

Donde:

$F_{t+k}$  es el pronóstico para el periodo  $t + k$ .

$S_t$  es el valor suavizado para el periodo  $t$ .

$X_t$  es el valor observado para el periodo  $t$ .

$B_t$  es la estimación de la pendiente en el periodo  $t$ .

$k$  es el número de periodos futuros que se quieren pronosticar.

Los métodos de suavizamiento son fáciles de utilizar, por lo general, se obtiene una buena exactitud en pronósticos a corto plazo. El suavizamiento exponencial tiene requerimientos mínimos de datos, por lo que es un método adecuado cuando se requiere de pronósticos para un gran número de artículos (Hanke y Wichern, 2006).

La suavización exponencial amortiguada de tendencia difiere de la suavización exponencial lineal de Holt por amortiguar (disminuir) la tendencia lineal que se extrapola hacia el futuro. El suavizador amortiguado de tendencia incluye el parámetro extra  $\theta$  (además de dos parámetros de Holt), el cual aplica el amortiguamiento óptimo mediante la aplicación de valores diferentes para elegir el que minimice el error cuadrado medio o la desviación media absoluta. Las ecuaciones usadas son (Hernández y Téllez):

$$S_t = \alpha X_t + (1 + \alpha)(S_{t-1} + B_{t-1})\theta \quad (3.17)$$

$$B_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)B_{t-1}\theta \quad (3.18)$$

$$F_{t+k} = S_t + \sum_{i=1}^k \theta_i B_t \quad (3.19)$$

$$\alpha = \frac{2}{(n + 1)} \quad (3.20)$$

$$\beta \leq \left(\frac{2}{\alpha} - 1\right) = \sqrt{\left(\frac{2}{\alpha} - 1\right)^2} - 1 \quad (3.21)$$

Donde:

$F_{t+k}$  es el pronóstico para el periodo  $t + k$ .

$S_t$  es el valor suavizado para el periodo  $t$ .

$X_t$  es el valor observado para el periodo  $t$ .

$B_t$  es la estimación de la pendiente en el periodo  $t$ .

$k$  es el número de periodos futuros que se quieren pronosticar.

$n$  es el número de valores observados.

Cuando exista menos dispersión en los datos reales respecto a los datos pronosticados entonces será más confiable el método empleado. Para saber preciso es el método empleado en la realización del pronóstico se utiliza la siguiente ecuación:

$$CME = \frac{\sum(Y_t - X_t)^2}{n} \quad (3.22)$$

Las aplicaciones que existen actualmente son para logística de la cadena de suministros, gestión de operaciones en laboratorios clínicos. (Hanke, 2006) hace mención aplicaciones para negocios donde pretende explicar las técnicas estadísticas básicas para que las empresas, de manera individual, elaboren pronósticos y planes a largo plazo

### **3.2.1.5 Método Holt-Winters**

El modelo Holt-Winters agrega un conjunto de procedimientos que conforman el núcleo de la familia de series temporales de suavizamiento exponencial. En método de pronóstico de triple exponente suavizante y tiene la ventaja de ser fácil de adaptarse a medida que nueva información real está disponible. El método Holt- Winters es una extensión del método Holt que considera solo dos exponentes suavizantes. Holt-Winters considera nivel, tendencia y estacional de una determinada serie de tiempos. Este método tiene

dos principales modelos, dependiendo del tipo de estacionalidad: el modelo multiplicativo estacional y el modelo aditivo estacional (Maguiña, 2016).

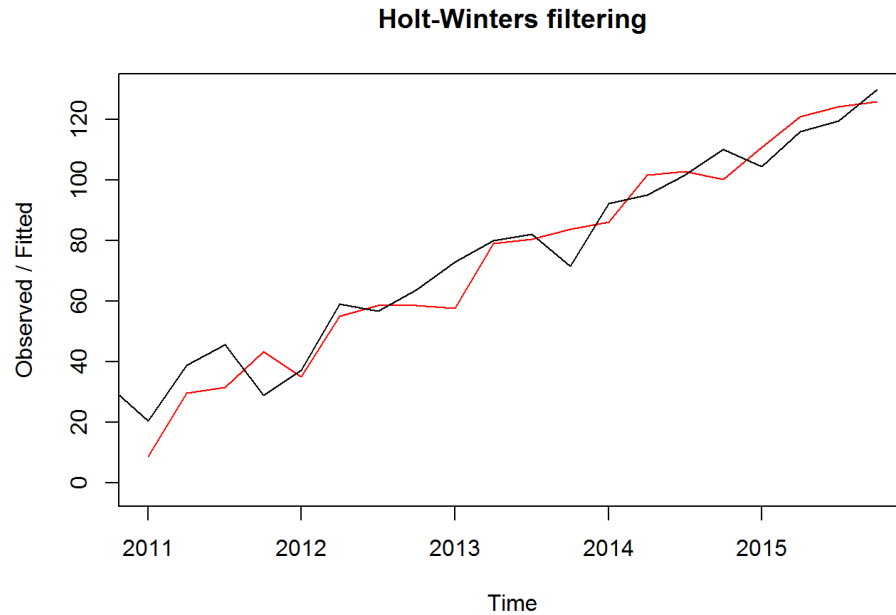


Figura 3.5 Ejemplo Gráfico de Holt Winters.

Este método genera resultados semejantes a los de la suavización exponencial doble, pero tienen la ventaja extra de ser capaz de manejar datos estacionales junto con datos que tengan una tendencia. Este método se basa en tres ecuaciones, cada una asociada con uno de los tres componentes del patrón (aleatoriedad, tendencia y estacionalidad) las fórmulas usadas son (Hernández y Téllez, 2016).

$$S_t = \alpha \frac{X_t}{C_{t-L}} + (1 - \alpha)(S_{t-1} + B_{t-1}) \quad (3.23)$$

$$B_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)B_{t-1} \quad (3.24)$$

$$C_t = \gamma \left( \frac{X_t}{S_t} \right) + (1 - \gamma) C_{t-L} \quad (3.25)$$

$$F_{t+k} = (S_t + KB_t) + C_{t+k-gL}$$

$$\alpha = \frac{2}{(n+1)} \quad (3.26)$$

$$\beta \leq \left( \frac{2}{\alpha} - 1 \right) = \sqrt{\left( \frac{2}{\alpha} - 1 \right)^2} - 1 \quad (3.27)$$

Para  $\gamma \leq 0.5$

Donde:

$F_{t+k}$  es el pronóstico para el periodo  $t + k$ .

$S_t$  es el valor estimado de la aleatoriedad para el periodo  $t$ .

$X_t$  es el valor observado en el periodo  $t$ .

$B_t$  es el valor estimado de la tendencia en el periodo  $t$ .

$L$  es el número de estaciones.

$t$  es el número de periodos de datos disponibles.

$k$  es el número de periodos futuros que se quieren pronosticar.

$g$  es el entero más pequeño mayor o igual que  $k/L$ .

En comparación con otras técnicas, el tiempo necesario para calcular el pronóstico es considerablemente más rápido. Esto significa que cualquier

individuo con suficiente, pero no necesariamente mucha experiencia, puede poner en práctica la técnica de Holt-Winters. Más allá de sus características técnicas, su aplicación en entornos de negocio es común. De hecho, Holt-Winters se utiliza habitualmente por muchas compañías para pronosticar la demanda a corto plazo cuando los datos de venta contienen tendencias y patrones estacionales de un modo subyacente (Maguiña, 2016).

La medición del error en los métodos de pronóstico, es importante por el término del error que se refiere a la diferencia entre el valor de pronóstico y lo que ocurrió en realidad. Siempre y cuando el valor del pronóstico se encuentra dentro de los límites de confianza, como se verá más adelante (Chase et al. 2009).

Esto se debe a que el intervalo de confianza se basa en los datos pasados; quizá no tome en cuenta los puntos de datos proyectados y por lo tanto no se puede utilizar con la misma confianza. De hecho, la experiencia ha demostrado que los errores reales suelen ser mayores que los proyectados a partir de modelos de pronóstico (Chase et al. 2009).

Los errores se pueden clasificar como sesgados o aleatorios. Los errores sesgados ocurren cuando se comete un error consistente. Las fuentes de sesgo incluyen a) el hecho de no incluir las variables correctas; b) el uso de las relaciones equivocadas entre las variables; c) el uso de la recta de tendencia errónea; d) un cambio equivocado en la demanda estacional desde el punto donde normalmente ocurre; y e) la existencia de alguna tendencia secular no detectada. Los errores

aleatorios se definen como aquellos que el modelo de pronóstico utilizado no puede explicar (Chase et al. 2009).

El error estándar es la raíz cuadrada de una función, a menudo es más conveniente utilizar la función misma. Esto se conoce como error cuadrado medio o varianza (Chase et al. 2009).

Existen varias técnicas importantes para calcular el error. El error promedio de pronóstico (*MFE*, por sus siglas en inglés, *Mean Forecast Error*). Se calcula a partir del error del pronóstico promedio matemático sobre un periodo específico, haciendo mención de la aplicación de (González, M., y Morachis, M, 2017) en el análisis y selección de un modelo de pronósticos cuantitativo para una empresa en el sector electrónico puedo concluir con la siguiente formula.

La fórmula es:

$$MFE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)}{n} \quad (3.28)$$

Donde:

$t$  es el número del periodo.

$A$  es la demanda real para el periodo.

$F_t$  = es la demanda pronosticada para el periodo  $t$ .

$n$  es el número total de periodos.

$(A_t - F_t)$  Representa la diferencia entre la demanda real y el pronóstico

El *MFE* implica sumar todos los errores de pronóstico individuales, y dividirlos entre el número total de errores. La importancia de este número no radica en su valor real, sino en su signo: si es positivo, indica la demanda real fue mayor al pronóstico sobre el rango de números incluidos de lo contrario no está en el rango (Chapman, 2006).

La desviación absoluta (*MAD*, por sus siglas en inglés, *Mean Absolute Deviation*). Representa el promedio de las desviaciones absolutas matemáticas de los errores de pronóstico (desviaciones), la fórmula es la siguiente:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (3.29)$$

Donde:

$t$  es el número del periodo.

$A$  es la demanda real para el periodo.

$F_t$  es la demanda pronosticada para el periodo.

$n$  es el número total de periodos.

Cuando los errores que ocurren en el pronóstico tienen una distribución normal, la desviación absoluta media se relaciona con la desviación estándar como (Chese et al. 2009):



1 desviación estándar =  $\sqrt{\frac{\pi^*}{2}}$  (*MAD*), o aproximadamente 1.25 *MAD*

Por el contrario, 1 *MAD* = 0.8 desviación estándar

La *MAD* se utiliza para pronosticar los errores, por lo que quizá sería mejor que fuera más sensible a los datos recientes. Una técnica útil para lograrlo es calcular una *MAD* uniformada exponencialmente como un pronóstico para el rango de errores del siguiente periodo. El procedimiento es similar a la uniformidad exponencial simple. El valor del pronóstico *MAD* que proporciona un rango de error (Chese et al. 2009).

En el caso del control de inventarios, este es útil para establecer niveles de inventario de seguridad (Chese et al. 2009).

$$MAD_t = \alpha A_t - F_t I + (1 + \alpha) MAD_{t-1} \quad (3.30)$$

Donde:

$MAD_t$  = *MAD* de pronóstico para el *t*-ésimo periodo.

$\alpha$  es la constante de suavización (en el rango de 0.05 a 0.20).

$A_{t-1}$  es la demanda real en el periodo *t* - 1.

$F_{t-1}$  es la demanda pronosticada para el periodo *t* - 1.

En el estudio de diversas fuentes se pueden observar aplicaciones tales como la publicada por (Medina, 2015) para un análisis e implementación de un modelo de pronóstico para la planeación de la producción en un proceso de

fabricación de condensadores y evaporadores. (Rodríguez-Coy, M., y Morachis, 2010). Aplicación de métodos de pronósticos en productos con demandas inciertas cuya publicación fue mostrada en 3er. Congreso Internacional CIPITECH 2010. Con base en las fuentes anteriores se presenta el típico problema de inventarios: excesiva cantidad de producto, que se suma a la gran variedad de referencias y puntos de venta, dificultan la aplicación de modelos de pronósticos y la generación de políticas de inventarios. Se reviso sus aportaciones de las aplicaciones en el comportamiento histórico de la demanda de los productos de estudio que plantean con base en un criterio científico y analítico para poder complementar esta tesis.

### **3.2.2 Pronósticos Cualitativos.**

Un pronóstico cualitativo se encuentra basado en la experiencia, intuición o subjetividad de quien predice los eventos futuros. Un método de enfoque cualitativo se suele adoptar cuando no hay datos históricos o hay cambios tecnológicos, cuando se va a lanzar un nuevo producto o cuando los datos que hay no son confiables (Hanke y Wichern, 2006).

Los pronósticos cualitativos se basan en el criterio administrativo y no usan modelos específicos; por lo tanto, distintos individuos pueden utilizar el mismo método cualitativo y llegar a pronósticos sumamente diferentes. No obstante, los métodos cualitativos son de utilidad cuando existe una falta de datos o cuando los datos históricos no son instrumentos de predicción confiables del futuro. En este

caso, el tomador de decisiones puede emplear los mejores datos disponibles y un enfoque cualitativo para llegar a un pronóstico (Fernández y Días, 2002).

Este tipo de pronósticos tienden a ser subjetivos, toda vez que suelen desarrollarse a partir de la experiencia de las personas involucradas, con frecuencia estarán sesgados con base en la posición potencialmente optimista o pesimista de dichas personas (Fernández y Días, 2002).

Las técnicas cualitativas se usan cuando no se tiene disponibilidad de información histórica o los datos son escasos, por ejemplo, cuando se introduce un producto nuevo al mercado. Hacen uso del criterio de la persona y ciertas relaciones para transformar información cualitativa en estimados cuantitativos (Hanke y Wichern, 2006).

### **3.2.2.1 Método Delphi.**

El pronóstico se desarrolla por medio de un panel de expertos que responden una serie de preguntas en rondas sucesivas. Las respuestas anónimas del panel se realimentan a todos los participantes en cada ronda. Se pueden requerir de tres a seis rondas para obtener la convergencia del pronóstico (Linstone, 1975).

(Linstone, 1975) hace mención que lo pronósticos a largo plazo, pronósticos en aplicaciones de ventas de productos nuevos y pronósticos tecnológicos. Este método permite que cada experto realice sus pronósticos individuales anónimamente, especificando las razones que lo llevaron a dicha

proyección, después el conjunto de estos se distribuye entre todos los expertos, lo cual permite que cada uno modifique sus proyecciones con base a la información de los demás. La idea es repetir esta serie de pasos hasta alcanzar un consenso.

(Landeta J., 2002) determina que el método Delphi es una técnica de información que permite obtener la opinión de un grupo de expertos a través de una consulta, esta técnica de carácter cualitativo tiene diversas aplicaciones cuando no se dispone de información suficiente para la toma de decisiones o es necesario para investigaciones de índole científico y tecnológico.

### **3.2.2.2 Encuestas de Mercado.**

Las encuestas son un método de obtención de información para generar estadísticas. Esta información se obtiene a través de cuestionarios diseñados ex profeso según el tipo de datos que se quiera conseguir. Normalmente, las encuestas para estudios de mercado con base en cuantificarlas, ya sea nominal y ordinalmente.

Una encuesta de mercado se desarrolla en tres fases. Se comienza por la planificación, en la que se tiene que definir qué es exactamente lo que se quiere conocer, el método de investigación que se empleará y el segmento concreto del mercado que se precisa investigar. La segunda fase se refiere a la recopilación de datos que puede hacerse en persona, vía telefónica o por internet. En función del medio variará la redacción de las preguntas. La tercera y última fase es en la

que se produce el análisis de los resultados obtenidos en la fase de recopilación, para poder establecer las conclusiones y elaborar un informe es decir, se cuantifica (Pilco y Ruiz, 2015).

Las encuestas de mercado sirven para obtener una información específica de una tendencia, deseo, gusto, preferencia, etc, que pueda afectar a tu nicho de mercado. Básicamente, las encuestas de mercado permiten conocer mejor al cliente, a la competencia, al mercado y a la propia empresa.

A través de las encuestas de mercado puedes conocer quién es tu cliente, qué es lo quiere, de qué manera, dónde lo quiere, por qué lo quiere y cuándo lo quiere. Y gracias a esta información se podrá llegar de manera más directa hasta él con tu producto o servicio y adelantar posiciones respecto a tu competencia (Pilco y Ruiz, 2015).

Las aplicaciones de encuestas de mercado pueden ser en inventarios para alguna compañía, están constituidas de tal forma que Muller, (2006) determina que las materias primas, productos en proceso, suministros que se utilizan en operaciones y por productos terminados. Un inventario puede ser algo tan elemental como una botella de limpiador de vidrios empleada como parte del programa de mantenimiento de un edificio, o algo más complejo, como una combinación de materias primas y subensamblajes que forman parte de un proceso de manufactura.

### **3.3 Tipos de Demanda.**

La demanda puede ser definida como la cantidad de bienes y servicios que son adquiridos por consumidores a diferentes precios, a una unidad de tiempo específica (un día, un mes, un año, etc,) ya que sin un parámetro temporal no podemos decir si una cantidad de demanda crece o decrece (Ferrin, 2007).

Cuando una persona elige comprar algún bien, para cumplir sus necesidades, lo hace de manera consiente con base en sus criterios tanto objetivos como subjetivos. Estas condiciones se modifican acorde al nivel educativo y socioeconómico; sexo, edad, entre otros factores, cuyas variaciones se ven reflejadas en gráficas de demanda.

La demanda agregada nos dice el consumo e inversión globales, es decir, total del gasto en bienes y servicios de una economía en un determinado período de tiempo. La demanda inelástica se caracteriza porque la variación en el precio de un bien determinado apenas afecta a la variación de la cantidad demandada de ese bien, de forma que queda manifiesta la rigidez de su demanda. En ocasiones esta relación es incluso inexistente, y entonces se habla de total rigidez de la demanda. A continuación, se muestra la tabla 3.1 que describe los tipos de demanda, así como la descripción (Ferrin, 2007).

Tabla 3.1 Tipos de Demanda.

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Tendencia</b>	Es el componente de largo plazo que representa el crecimiento o disminución en la serie sobre un periodo amplio.
<b>Cíclico</b>	Es la fluctuación en forma de onda alrededor de la tendencia.
<b>Estacional</b>	Es un patrón de cambio que se repite a sí mismo período tras período (año tras año, mes con mes, día con día, etc.)
<b>Aleatorio</b>	Mide la variabilidad de las series de tiempo después de retirar los otros componentes (tendencias, ciclos, estacionalidad, etc.).

### 3.3.1 Demanda Cíclica.

El modelo de variación estacional, estacionaria o cíclica permite encontrar el valor esperado o pronóstico cuándo existen fluctuaciones movimientos ascendentes y descendientes de la variable, periódicas de la serie de tiempo, esto generalmente como resultado de la influencia de fenómenos de naturaleza económica.

Estos ciclos corresponden a los movimientos en una serie de tiempo, que ocurren año tras año en los mismos meses o períodos del año y relativamente con la misma intensidad.

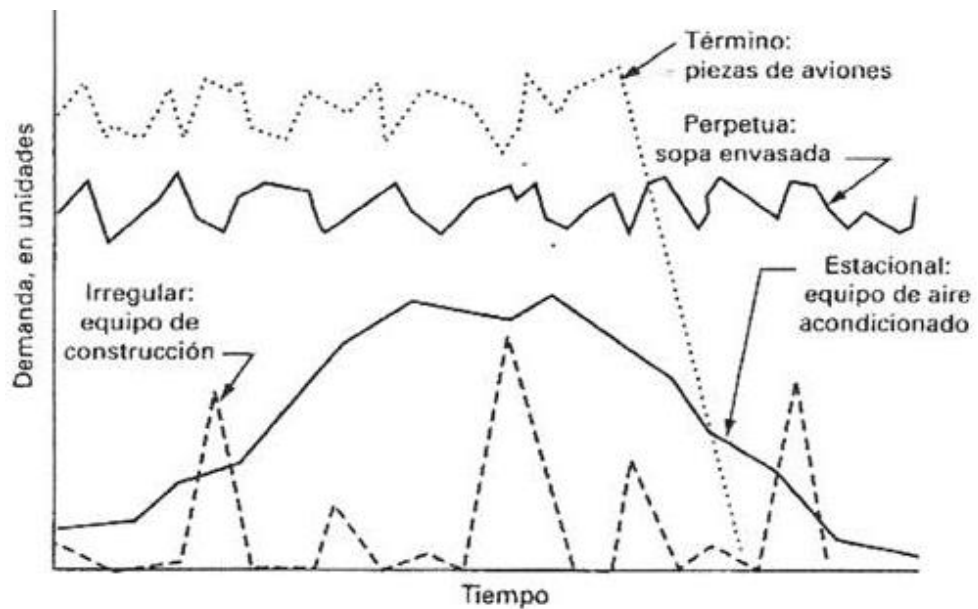


Figura 3.6 Comportamiento Crítico de las Demandas.

### 3.3.2 Demanda Estable.

La demanda estable es aquella cuya media no sufre variaciones significativas dentro de un período considerado. Se dice que la demanda presenta tendencia cuando el valor de su media va creciendo o decreciendo con el tiempo. Si la tendencia es creciente el *stock* no es un problema, más tarde o más temprano se acabará. Si es decreciente incrementa el riesgo de obsolescencia. Finalmente, si la demanda es estacional sucede que su media sufre variaciones significativas dentro del periodo de observación que coincide siempre con las mismas fechas (Pérez, 2010).



La demanda regular, es la que se presenta de forma constante en un determinado periodo de tiempo. Por ejemplo: productos básicos como el pan y los lácteos.

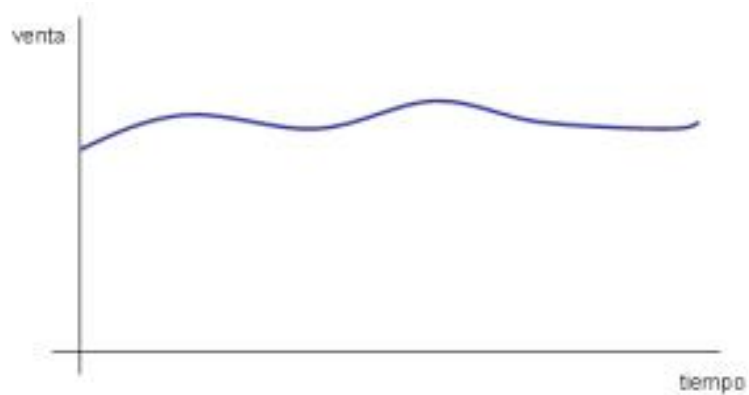


Figura 3.7 Demanda Regular.

La demanda estacional, es aquella que se presenta en determinados momentos del año. Como por ejemplo los hielos, los helados aumenta su demanda durante los meses del verano.

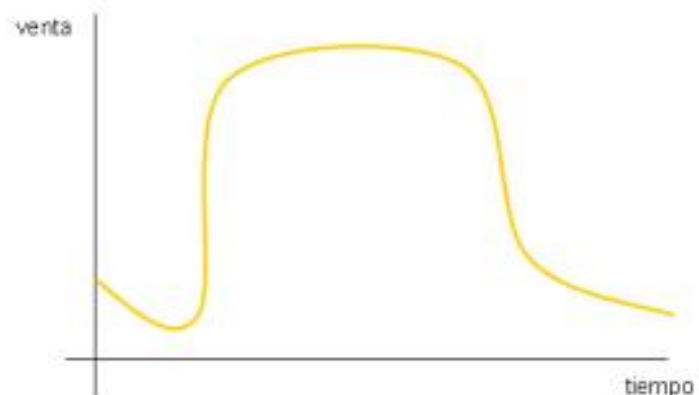


Figura 3.8 Demanda Estacional.



### **3.4 Capacidad de Producción.**

Un sistema productivo es planeado a largo, mediano y corto plazo. En este sentido las decisiones a nivel estratégico, táctico y operativo son de gran importancia para la capacidad.

Estudiar la capacidad de producción es necesario para toda empresa, todo esto con el fin de poder abarcar la mayor cantidad de demanda, optimizando las utilidades y a largo plazo contemplar la posibilidad de crecer o expandirse para poder aumentar su mercado. El brindar un mejor servicio de calidad y satisfacción de necesidades a la mayor parte de la población consumidora del producto (Quintero, 2016).

La capacidad a largo plazo se enfoca en más de un año y es a nivel estructural. Esto implica que requiere gran inversión y que su importancia es estratégica. Planear adecuadamente la capacidad a largo plazo es vital, pues junto a la inversión que requiere, también es determinante para la demanda posterior. Una capacidad excesiva con una baja demanda, tendrá costos elevados en el funcionamiento de la planta; mientras que una capacidad que no consigue igualar el nivel de demanda, resulta insuficiente (Quintero, 2016).

El planear la capacidad considera la demanda a futuro, y que esta crece o disminuye a través del tiempo, mientras que la capacidad aumenta en gran porción y de forma inmediata (Quintero, 2016).

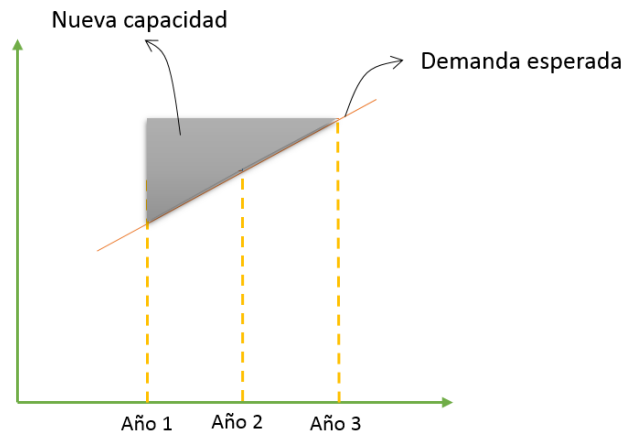


Figura 3.11 Capacidad Incrementalmente de Acuerdo a la Demanda.

Siguiendo este ejemplo para demostrar gráficamente los comportamientos, se toma la decisión de hacer un amplio aumento en la capacidad. Evidentemente durante un tiempo se tendrá la capacidad disponible.

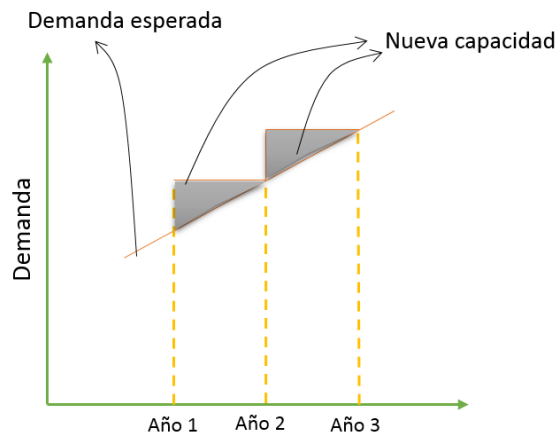


Figura 3.12 Capacidad con Amplio Aumento de Acuerdo a la Demanda.

Cuando la capacidad está retrasada con respecto a la demanda, es igual que el primer caso, es decir, que sigue creciendo incrementalmente, pero esta vez, la capacidad está retrasada con respecto a la demanda.

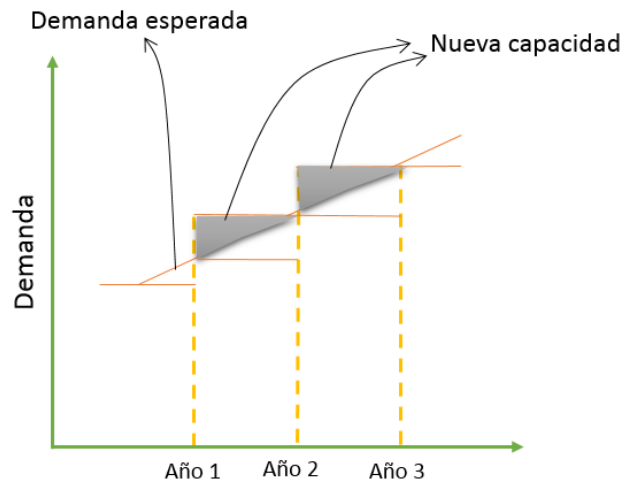


Figura 3.13 Capacidad Retrasada con Respecto a la Demanda.

Tener capacidad promedio en función de la demanda implica que en ocasiones es posible estar por adelante o por detrás de la demanda. El cálculo de la capacidad de producción involucra muchos aspectos de la dirección de operaciones, los que serán más o menos dependiendo del momento en que se hace: el horizonte de tiempo, la planeación de la planta, proceso o servicio, etc. (Quintero, 2016).

Por otro lado, hay empresas que nunca han planeado su capacidad. Por ejemplo, Pymes que se fundaron sin tener en cuenta ninguna de los aspectos antes mencionados. Muchas veces, al ser conscientes de la importancia de planear la capacidad a largo plazo, hacerlo ya es muy complejo dado lo costoso que conlleva un cambio de gran magnitud, sin contar la resistencia al cambio.

$$Eficiencia = \frac{Producción\ real}{Capacidad\ efectiva} \quad (3.31)$$

De acuerdo con todo lo relacionado con la capacidad de producción la mano de obra no trabaja constantemente durante toda la jornada laboral, sino que se presentan demoras de diversidades etc. Esto indica que al tiempo total que trabaja la mano de obra se le resta un porcentaje correspondiente a este tipo de actividades y al desgaste que tiene durante la jornada laboral, considerando todas estas variables es posible calcular la eficiencia.

### **3.5 Materiales de Inventario.**

El inventario representa la existencia de bienes almacenados destinados a realizar una operación, sea de compra, alquiler, venta, uso o transformación. Debe aparecer, contablemente, dentro del activo como un activo circulante.

El inventario se define como la acumulación de materiales (materias primas, productos en proceso, productos terminados o artículos en mantenimiento) que posteriormente serán usados para satisfacer una demanda futura (Moya, 1998).

Es posible clasificar los tipos de inventario mediante las categorías: inventario de materias primas; lo conforman todos los materiales con los que se elaboran los productos, pero que todavía no han recibido procesamiento; inventario de productos en proceso de fabricación. Lo integran todos aquellos bienes adquiridos por las empresas manufactureras o industriales, los cuales se encuentran en proceso de manufactura. Su cuantificación se hace por la cantidad

de materiales, mano de obra y gastos de fabricación, aplicables a la fecha de cierre. Los inventarios de productos terminados, son todos aquellos bienes adquiridos por las empresas manufactureras o industriales, los cuales son transformados para ser vendidos como productos elaborados

El movimiento que se produce en los almacenes de cada artículo en existencia obliga a mantener una cantidad determinada de cada uno, la cual debe estar de acuerdo con el tiempo y la frecuencia de consumo, así como el lapso en que se renueva. Es decir, la demora que se produce desde que se revisa la existencia para emitir la solicitud de compra, hasta que los materiales estén disponibles en el almacén para satisfacer las necesidades de los usuarios o consumidores (Muller, 2006).

En el mercado encontraremos una gran variedad de filamentos que podemos utilizar para nuestras impresiones. Dependiendo del filamento que usemos, tendremos resultados que pueden variar en calidad. Por otro lado, dependiendo del plástico con el que estén compuestos los filamentos que usemos, requerirán de distintos cuidados por nuestra parte.

### **3.6 Planeación y Control de Inventarios.**

El inventario representa un porcentaje significativo del capital invertido, por lo cual los administradores dan tanta importancia al control del mismo, ya que por un lado se procura reducir los costos manteniendo un nivel de inventarios bajos, pero por el otro se debe tomar en cuenta la posibilidad de escasez de algún

artículo. De aquí la importancia de mantener un adecuado equilibrio entre ambas posturas. Por un lado, no permitir que exista una gran inversión de capital en los inventarios, que dicho sea de paso se pueden dañar; y por el otro, no permitir que la producción se pare por falta de materia prima (Muller, 2006).

La importancia del control de inventarios radica en la necesidad de tener adecuadamente ordenados los artículos dentro de los almacenes, ya que si no se puede encontrar un artículo, no se podrá contar, llevar una orden con él o saber cuál es su movimiento dentro de la producción. Para lograr un inventario preciso es indispensable formalizar el sistema de ubicación que se utilizará, tener una buena logística de almacenamiento desde su recepción hasta su uso, en fin, todo lo necesario para poder controlar de manera práctica este importante insumo de la empresa (Moya, 1999).

El objetivo del control de inventarios es lograr mantener un equilibrio óptimo del mismo y la inversión que se requiere para ello. Muchos negocios actuales han logrado tener mayores utilidades gracias a la planeación y mejoras en sus sistemas de control de inventario (Moya, 1999).

La planificación y control de la producción es una de las actividades más delicadas que se tiene que cumplir en la empresa pues es la que prevé lo que ha de producirse para atender las necesidades del mercado y, en base a ello, es la que dimensiona los recursos que habrá que conseguir para viabilizar el plan.



Por su parte, la planificación de la producción es el conjunto de actividades que hay que realizar en el futuro, tendientes a la dotación oportuna de los recursos necesarios para la producción de los bienes y servicios especificados por la planeación estratégica y el control de la producción es la técnica que verifica el cumplimiento de los planes correspondientes.

Como ya se ha dicho, la planeación de la producción está concentrada con el desarrollo específico de la acción que ejecutará el sistema de producción, a través del tiempo. En términos generales, esto obliga a hacer pronósticos para seleccionar la mayor combinación de recursos humanos, materiales y maquinaria para producir la demanda requerida eficientemente. En términos específicos, la cantidad de unidades de producción máxima que satisfaga los requerimientos impuestos por la demanda (Bedoya, 2018).

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS.**

En este apartado se describen los materiales de soporte para la realización de esta investigación con la finalidad de contribuir a la metodología para poder determinar el modelo de pronóstico que se ajuste a los datos históricos recabados.

### **4.1 Materiales.**

Se utilizaron los siguientes materiales informáticos para el procedimiento y recopilación de datos:

- a) Laptop HP® con Windows 10
- b) Microsoft Office® 2016
- c) Minitab 18®

### **4.2 Métodos.**

De acuerdo con todo lo investigado y con la información recabada hasta este punto, es importante resaltar que el estudio se realiza en la empresa local The 3D House, donde se pretende recomendar un modelo de pronósticos cuantitativo que proporcione un análisis confiable de la demanda a corto y largo plazo de los datos históricos obtenidos.

El proyecto en desarrollo tiene un enfoque no experimental de tipo longitudinal, dicha búsqueda toma lugar a lo largo del tiempo implicado tomar más

de una medición, en el hecho de que se centra en buscar un modelo de pronósticos para un adecuado control de inventarios. De acuerdo con Sampieri (2014) para la ayuda de la revisión de la literatura se determinó que la investigación es un estudio cuantificado para los gramos del producto, de tipo correlacional. Recordando que los estudios correlacionales nos ayudaran en la parte de los pronósticos a un campo de estudio preciso con la finalidad de estudiar el grado de asociación entre dos o más variables, también tiene la finalidad de conocer la relación o grado de asociación que exista entre las variables midiendo y cuantificando, tal es el caso de esta investigación, que pretende centralizarse en el estudio de las variables gramos, demanda.

El estudio en el cual el fenómeno toma lugar en el conocimiento científico siempre hay un estado primario de incertidumbre con respecto a un pronóstico. El estudio correlacional sirve para conocer más la naturaleza de un fenómeno en un contexto aunado a las variables.

En la tabla 4.1 se estará describiendo las fases de la metodología utilizada en el desarrollo de la investigación comenzando desde la búsqueda de datos históricos hasta concluir con recomendaciones futuras.

<b>Fases de la Metodología Utilizada.</b>		
<b>Fases</b>	<b>Descripción</b>	<b>Resultado Esperado</b>
<b>1</b>	Búsqueda de Datos Históricos.	Suficientes Fuentes de Investigación para la Recolección.
<b>2</b>	Análisis de Datos Obtenido.	Visualización de los Diferentes Métodos de Pronósticos.
<b>3</b>	Modelos de Pronósticos a Comprobar.	- Método de Suavización Exp. Simple.
		- Método de Suavización Exp. Doble.
		- Método de Suavización de Holt-Winters.
<b>4</b>	Selección de los Modelos a Probar.	Cálculo de la Demanda y Error del Pronóstico para cada Método de Análisis.
<b>5</b>	Desarrollo del Mejor Método de Pronósticos.	Pruebas de Datos Reales de la Compañía contra los Datos Pronosticados de Acuerdo al Modelo Seleccionado.
<b>6</b>	Verificación del Modelo.	Contraste de la Hipótesis y Preguntas de Investigación.
<b>7</b>	Desarrollo de Conclusiones.	Recomendaciones para Futuras Mejoras.

Tabla 4.1 Fases de la Metodología Utilizada.

#### **4.2.1 Búsqueda de Datos Históricos.**

Los datos que se muestran a continuación son parte de la búsqueda en diversas bases de datos de índole científico y tecnológico. En la tabla 4.2 se muestran los datos recolectados del consumo de material desde la semana uno del año 2018. En la cual nos estaremos basando para poder pronosticar.

Tabla 4.2 Venta por Piezas Considerando Ceros.

Semanas	Consumo	Semanas	Consumo
1	33	26	8.1
2	0	27	0
3	53	28	50
4	70	29	44.5
5	36	30	44.5
6	0	31	5.2
7	5.6	32	23.1
8	9.2	33	66.2
9	14.2	34	78.6
10	21.4	35	80.5
11	44.1	36	140.8
12	51.3	37	260.3
13	77.2	38	180
14	60.6	39	205.9
15	180.6	40	198.3
16	60.2	41	154.2
17	33.1	42	19.6
18	21	43	244.3
19	88.4	44	5.5
20	50	45	60.2
21	50	46	236.8
22	28.6	47	44.5
23	54.2	48	185.6
24	14	49	253.2
25	24.4	50	-
		51	-
		<b>TOTAL</b>	<b>3670</b>

De igual forma fue posible obtener los datos gráficos de la tabla anterior para determinar el tiempo muerto resultante de quedarse sin material existente y de la misma manera mantener los inventarios estables.

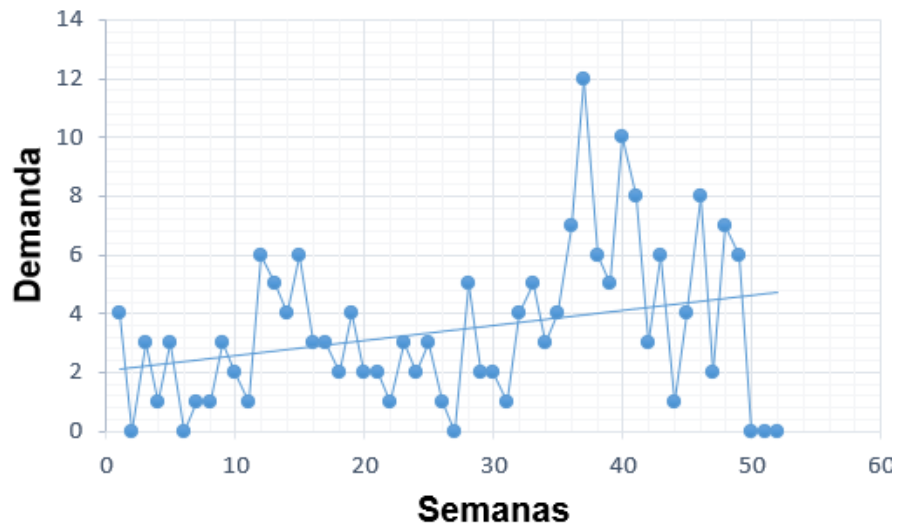


Figura 4.1 Comportamiento de las Ventas Semanales.

#### 4.2.2 Análisis de Datos Obtenidos.

En la sección 3.1 se mostraron los diferentes tipos de pronósticos, su alcance y la forma en que se pueden aplicar. Es por ello que en esta sección se analizarán los datos que se han recabado hasta este apartado. Las condiciones sobre los costos son de acuerdo con un análisis previo en la compañía en la cual estaremos haciendo énfasis a la variable costo por gramo The 3D House®.

En el análisis se realiza un patrón que se conoce como serie de tiempo aplicable a la demanda son: la tendencia y forma gráfica como se muestra en la figura 4.3 la cual ayudará con una mejor selección de los modelos de pronóstico que se van a probar de acuerdo a una serie del tiempo.

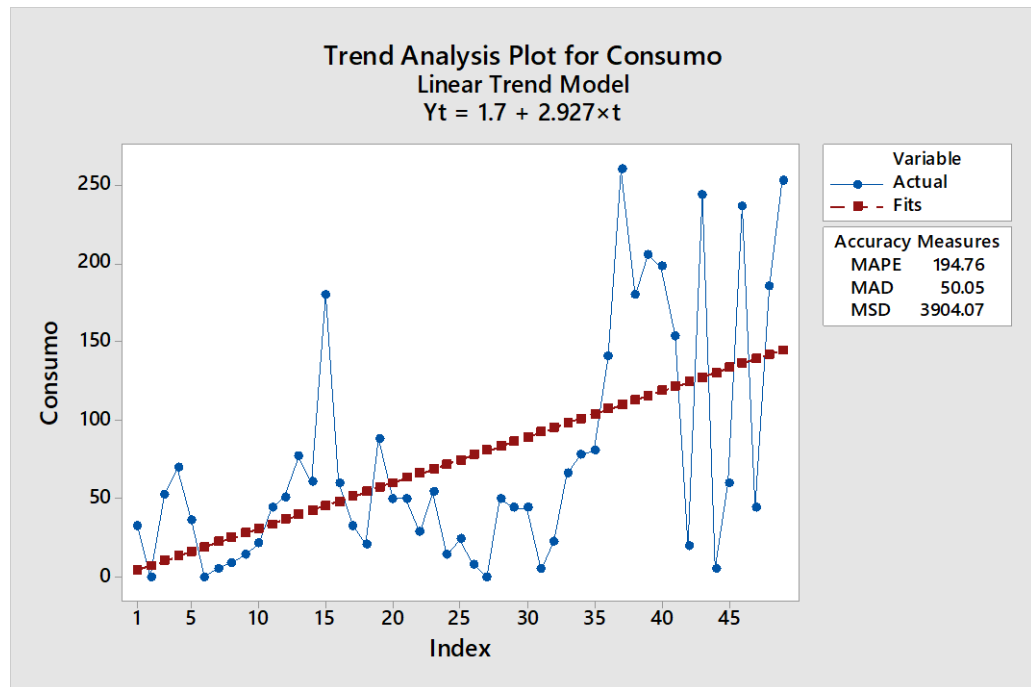


Figura 4.2 Análisis del Consumo en Minitab.

La variable principal a considerar es la cantidad de gramos, es por ello que se muestra el gráfico en la figura 4.3 el consumo de material a lo largo de las semanas para poder predecir la tendencia y el tipo de demanda. Al observar los datos, se puede inferir que la fluctuación de los mismos va en torno a una media con un patrón ascendente, pero con picos considerables para poder estimar con precisión estos patrones se puede hacer alusión a la Suavización Exponencial Simple, Suavización Exponencial Doble y Holt Winters.

Después de observar los patrones de los datos, se debe elegir la prueba de hipótesis a utilizar para verificar si los datos pronosticados son estadísticamente iguales a los reales. Primero se debe realizar una prueba de

normalidad, la cual es fundamental para determinar si los datos obtenidos tienen un comportamiento mediante una distribución normal. A continuación, en la figura 4.4, se muestran las pruebas de normalidad a los datos de las 49 semanas.

Primero se realiza la prueba de normalidad de los datos sin considerar los ceros, esto para fines prácticos en el estudio gráfico del consumo a través de los años 2018 y 2019.

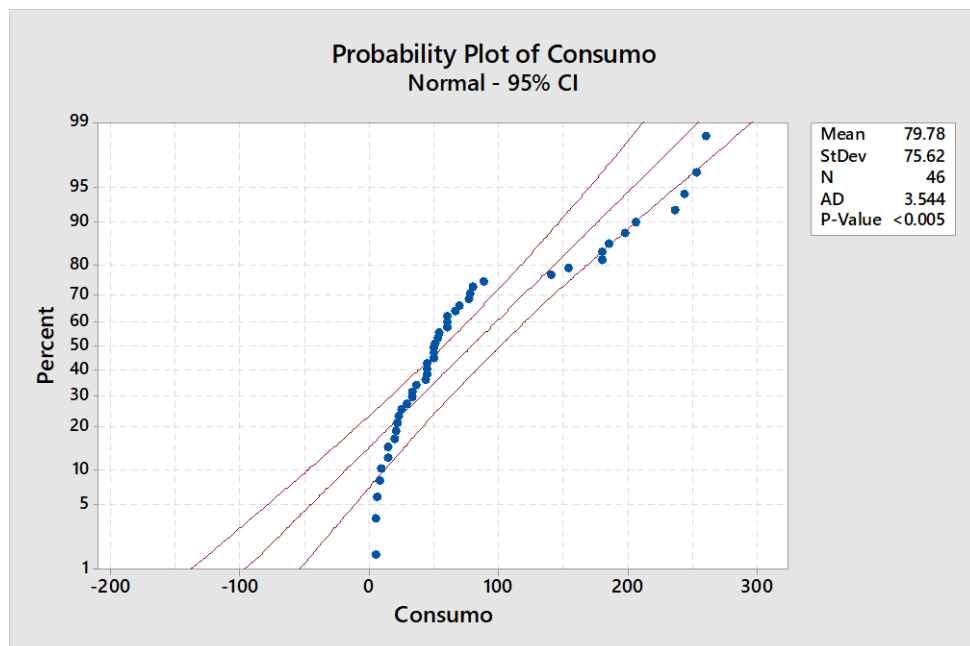


Figura 4.3 Datos de Normalidad Incluyendo los Ceros.

En consecuencia a lo antes mencionado se realiza la prueba de normalidad de los datos uno en los espacios de ceros, esto para fines prácticos en el estudio gráfico del consumo a través de los años 2018 y 2019.



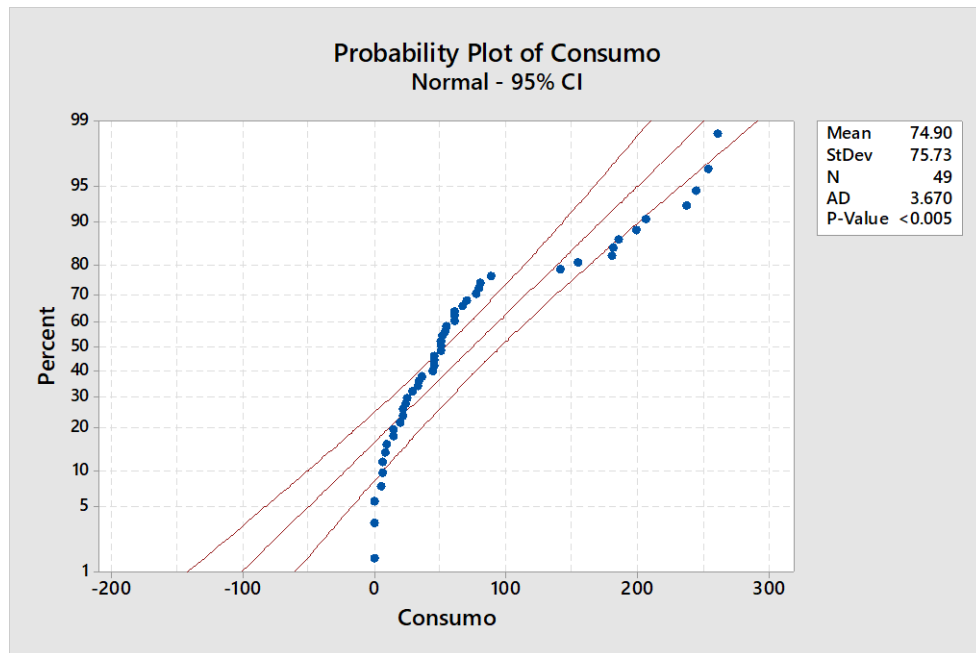


Figura 4.4 Datos de Normalidad Considerando Uno.

En ambos casos se observa que el *P-Value* es menor a 0.005, esto indica que los datos no tienen un comportamiento normal, por lo tanto, se usaran pruebas no paramétricas de comparación de medianas y varianzas, para demostrar la hipótesis que los datos

#### 4.2.3 Modelos de Pronósticos a Comprobar.

En esta fase de la metodología se analizarán los métodos que más se apeguen de acuerdo a los datos recopilados. Es importante resaltar cuando se abordan las series de tiempo, en algunos casos es identificable que el comportamiento de un grupo de datos puede arrojar una tendencia clara e información que permita anticipar movimientos futuros.

Es por ello que de acuerdo a lo que se sugiere en la literatura la suavización exponencial simple forma parte importante en los modelos de pronósticos, cuya fórmula se obtiene al usar la ecuación de promedios móviles simples, pero suponiendo que solo se tiene el valor más reciente y el pronóstico hecho para el mismo periodo, se usa en el lugar del valor más antiguo del pronóstico, el valor del pronóstico hecho para el último periodo, las fórmulas son: (Hernández y Téllez, 2016).

Los métodos de suavizamiento son fáciles de utilizar y, por lo general, se obtiene una buena exactitud en pronósticos a corto plazo. El suavizamiento exponencial tiene requerimientos mínimos de datos, por lo que es un método adecuado cuando se requiere de pronósticos para un gran número de artículos (Hanke & Wichern, 2006).

El modelo Holt-Winters agrega un conjunto de procedimientos que conforman el núcleo de la familia de series temporales de suavizamiento exponencial. El método Holt- Winters es una extensión del método Holt que considera solo dos exponentes suavizantes. Holt-Winters considera nivel, tendencia y estacional de una determinada serie de tiempos. Este método tiene dos principales modelos, dependiendo del tipo de estacionalidad: el modelo multiplicativo estacional y el modelo aditivo estacional (Maguiña, 2016).

Este método genera resultados semejantes a los de la suavización exponencial doble, pero tienen la ventaja extra de ser capaz de manejar datos

estacionales junto con datos que tengan una tendencia. Este método se basa en tres ecuaciones, cada una asociada con uno de los tres componentes del patrón (aleatoriedad, tendencia y estacionalidad) las fórmulas usadas son (Hernández y Téllez, 2016).

Tabla 4.3 Suavización Exponencial con Valores  $\alpha=0.2$ ,  $\gamma=0.2$ .

Periodo: 2018	Suavización Exponencial Doble						
	REAL	FIT	MAPE	MAD	MSD	PRON.	ERROR
$\alpha(\text{level}) = 0.2 / \gamma(\text{trend}) = 0.2$							
Semana 49	253.2						
Semana 50	135.75	175.3660238	371.19	51.51	4813.48	175.33	57.9
Semana 51	175.33	198.0280893	353.49	51.59	4765.38	179.31	4.01
Semana 52	179.31	199.6686181	346.42	51	4683.28	183.28	3.98
Semana 53	183.28	200.9734964	339.59	50.39	4602.35	187.26	3.96

Tabla 4.4 Suavización Exponencial con Valores  $\alpha=0.3$ ,  $\gamma=0.6$ .

Periodo: 2018	Suavización Exponencial Doble						
	REAL	FIT	MAPE	MAD	MSD	PRON.	ERROR
$\alpha(\text{level}) = 0.3 / \gamma(\text{trend}) = 0.6$							
Semana 49	253.2						
Semana 50	190.33	108.66	344.88	52.25	5482.81	228.63	57.9
Semana 51	228.63	228.638	333.03	50.37	5285.02	266.941	38.311
Semana 52	266.941	266.941	328.02	49.55	5199.31	305.247	38.306
Semana 53	305.247	305.247	323.5	48.79	5122.21	343.552	38.305

Tabla 4.5 Suavización Exponencial con Valores  $\alpha=0.2$ ,  $\gamma=0.8$ .

Periodo: 2018	Suavización Exponencial Doble						
$\alpha(\text{level}) = 0.2 / \gamma(\text{trend}) = 0.8$	REAL	FIT	MAPE	MAD	MSD	PRON.	ERROR
Semana 49	253.2						
Semana 50	135.73	64.223	370.57	54.14	6109.16	169.451	33.721
Semana 51	169.451	169.453	363.7	53.13	5993.28	203.169	33.718
Semana 52	203.169	203.179	357.64	52.23	5887.7	236.893	33.724
Semana 53	236.893	236.902	352.27	51.43	5791.78	270.619	33.726

Tabla 4.6 Suavización Exponencial con Valores  $\alpha=0.4$ ,  $\gamma=0.3$ .

Periodo: 2018	Suavización Exponencial Doble						
$\alpha(\text{level}) = 0.4 / \gamma(\text{trend}) = 0.3$	REAL	FIT	MAPE	MAD	MSD	PRON.	ERROR
Semana 49	253.2						
Semana 50	193.32	125.07	340.57	50.18	4872.59	210.317	16.99
Semana 51	210.317	193.32	334.2	49.57	4785.79	248.08	37.76
Semana 52	248.08	219.15	328.13	49.04	4705.79	269.41	21.33
Semana 53	269.41	248.08	322.5	48.61	4633.1	304.37	34.96

Para la medición del error se hacen las comparaciones de los estadísticos MAPE, MAD y MSD. Para las tres medidas, valores más pequeños por lo general indican un modelo de ajuste más adecuado (Minitab<sup>®</sup>, 2018).

Error porcentual absoluto medio (MAPE, *Mean Absolute Percentage Error*, por sus siglas en inglés). Expresa la exactitud como un porcentaje del error. Como este número es un porcentaje, puede ser más fácil de entender que los otros estadísticos. Por ejemplo, si el MAPE es 5 en promedio, el pronóstico está fallado en un 5% (Minitab<sup>®</sup>, 2018).

Desviación absoluta media (MAD, *Mean Absolute Deviation*, por sus siglas en inglés). Mide la exactitud de los valores estimados de la serie de tiempo y la expresa en las mismas unidades que los datos, lo cual ayuda a conceptualizar la cantidad de error (Minitab<sup>®</sup>, 2018).

Desviación cuadrática media (MSD, *Mean Squared Deviation*, por sus siglas en inglés). Una medida utilizada comúnmente de la exactitud de los valores ajustados de las series de tiempo. Los valores atípicos tienen mayor efecto en MSD que en MAD (Minitab<sup>®</sup>, 2018).

Al igual en esta etapa se calcula la diferencia de los valores reales contra los pronosticados, de esta manera se puede medir cuál de los modelos tiene menos diferencia con lo real y así hacer una mejor selección de modelo (González, 2017).

#### **4.2.4 Selección de los Modelos a Probar.**

En este apartado se presentan los modelos de pronósticos previamente analizados de acuerdo a los datos históricos en la sección 4.2.3. Se estarán haciendo pruebas con distintos valores de las constantes de suavización.

Tabla 4.7 Pronósticos Semana 50,51,52 y 53.

Semanas	Consumo	Semanas	Consumo
1	33	26	8.1
2	0	27	0
3	53	28	50
4	70	29	44.5
5	36	30	44.5
6	0	31	5.2
7	5.6	32	23.1
8	9.2	33	66.2
9	14.2	34	78.6
10	21.4	35	80.5
11	44.1	36	140.8
12	51.3	37	260.3
13	77.2	38	180
14	60.6	39	205.9
15	180.6	40	198.3
16	60.2	41	154.2
17	33.1	42	19.6
18	21	43	244.3
19	88.4	44	5.5
20	50	45	60.2
21	50	46	236.8
22	28.6	47	44.5
23	54.2	48	185.6
24	14	49	253.2
25	24.4	<b>50</b>	<b>210.3</b>
		<b>51</b>	<b>248.0</b>
		<b>52</b>	<b>269.4</b>
		<b>53</b>	<b>304.3</b>
		<b>TOTAL</b>	<b>3670</b>

De esta forma se podrá determinar cuál modelo se apega más a la demanda de producción y con ello poder aplicarlo en la compañía. La suavización exponencial doble se usa en una serie de datos que contenga una tendencia consistente, los pronósticos se retrasaran de la tendencial. En la suavización

exponencial doble se utilizan las siguientes ecuaciones para suavizar (Hernández y Téllez, 2016).

Los métodos de suavizamiento son fáciles de utilizar y, por lo general, se obtiene una buena exactitud en pronósticos a corto plazo. El suavizamiento exponencial tiene requerimientos mínimos de datos, por lo que es un método adecuado cuando se requiere de pronósticos para un gran número de artículos (Hanke y Wichern, 2006).

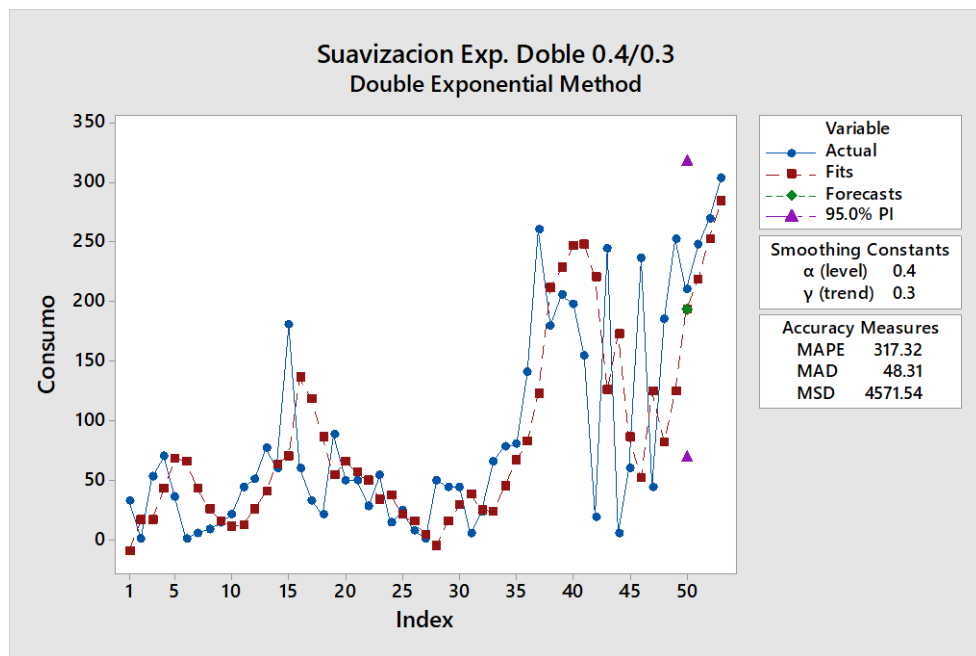


Figura 4.5. Suavización Exponencial con Menor MAD.

#### 4.2.5 Desarrollo del Mejor Método.

La suavización exponencial amortiguada de tendencia difiere de la suavización exponencial lineal de Holt por amortiguar (disminuir) la tendencia lineal que se extrapola hacia el futuro.

Para mejorar la calidad del pronóstico al observar una tendencia en la serie de tiempo se puede considerar el método de Suavizamiento Exponencial Doble, conocido también como Suavizamiento Exponencial Ajustado a la Tendencia o Método de Holt. La tendencia es un incremento o decremento sistemático en el promedio de la serie a través del tiempo. Luego, el método de Suavizamiento Exponencial Doble busca incorporar la tendencia en un pronóstico suavizado exponencialmente tal es el caso.

En la tabla 4.8 se puede mostrar el análisis obtenido por el programa Minitab para el Mann-Whitney: Consumo, FITS1.

Tabla 4.8 Calculo de la Mediana.

$\eta_1$ : median of Consumo		
$\eta_2$ : median of FITS1		
Difference: $\eta_1 - \eta_2$		
Sample	N	Median
Consumo	53	51.3000
FITS1	53	56.1979

En la tabla 4.9 se puede mostrar las estimaciones de acuerdo a la confiabilidad lograda en el análisis de datos.



Tabla 4.9 Estimación de Diferencia.

Difference	CI for Difference	Achieved Confidence
-2.14390	(-21.4212, 18.7225)	95.06%

En la tabla 4.10 se puede mostrar parte de las pruebas de hipótesis realizadas en el programa Minitab® para poder determinar los valores del *P-value*.

Tabla 4.10 Pruebas de Hipótesis

Null hypothesis	$H_0: \eta_1 - \eta_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_1: \eta_1 - \eta_2 \neq 0$	
<b>Method</b>	<b>W-Value</b>	<b>P-Value</b>
Not adjusted for ties	2802.00	0.835
Adjusted for ties	2802.00	0.835

En la tabla 4.11 se muestra el método Wilcoxon Signed Rank CI: Consumo, FITS1.

Tabla 4.11 Método Wilcoxon para Medianas y Confiabilidad

$\eta$ : median of Consumo, FITS1				
Sample	N	Median	CI for $\eta$	Achieved Confidence
Consumo	53	70.3500	(45.7, 115.95)	94.96%
FITS1	53	70.7900	(49.9607, 104.363)	94.96%

Con la ayuda del método Kruskal-Wallis mostrado en la tabla 4.12 pudimos obtener los ajustes, medianas y los rangos para poder comparar los datos y concluir con una hipótesis.

Tabla 4.12 Método Kruskal-Wallis vs Ajuste

<b>FITS1</b>	<b>N</b>	<b>Median</b>	<b>Mean Rank</b>
66.317	1	50	25
67.16	1	80.5	37
68.218	1	36	19
70.592	1	180.6	42
82.021	1	185.6	43
82.644	1	140.8	39
86.059	1	60.2	30.5
86.07	1	21	12
117.91	1	33.1	18
123.033	1	260.3	51
125.049	1	44.5	22
125.074	1	253.2	50
126.106	1	244.3	48
135.947	1	60.2	30.5
173.367	1	5.5	5
193.321	1	210.317	46
211.538	1	180	41
219.155	1	248.08	49
220.777	1	19.6	11
228.737	1	205.9	45
246.676	1	198.3	44
248.594	1	154.2	40
253.232	1	269.41	52
284.152	1	304.37	53
Overall	53		27

Realizando el estudio para las hipótesis y medianas pudimos obtener los datos que se muestran a continuación en la tabla 4.13, tales como *H-Value* y *P-Value*.

Tabla 4.13 Análisis de Hipótesis para Medianas

Null hypothesis	$H_0$ : All medians are equal		
Alternative hypothesis	$H_1$ : At least one median is different		
<b>Method</b>	<b>DF</b>	<b>H-Value</b>	<b>P-Value</b>
Not adjusted for ties	52	51.97	0.475
Adjusted for ties	52	52.00	0.474

De acuerdo en el análisis previo de la mediana, hipótesis y ahora una prueba de comparación de varianzas del consumo y el respectivo acomodo del FIT se muestra la figura 4.6.

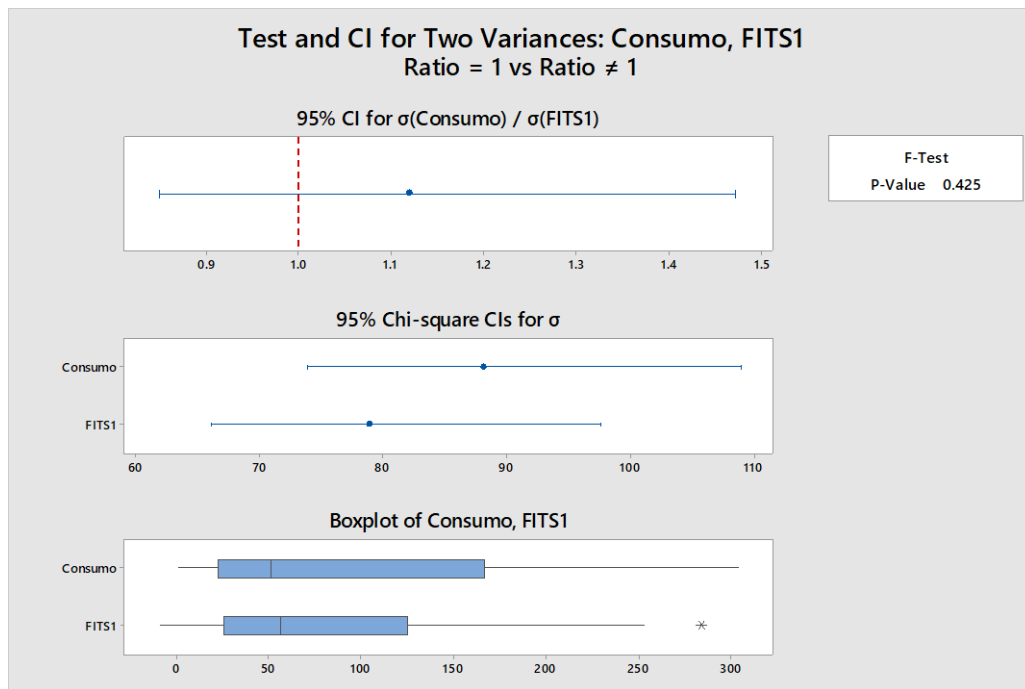


Figura 4.6 Prueba de Varianza del Consumo vs Ajuste.

Con la finalidad de un estudio detallado del consumo se realizó el análisis grafico de las medias vs el FIT todo esto para determinar el comportamiento a lo largo de los años.

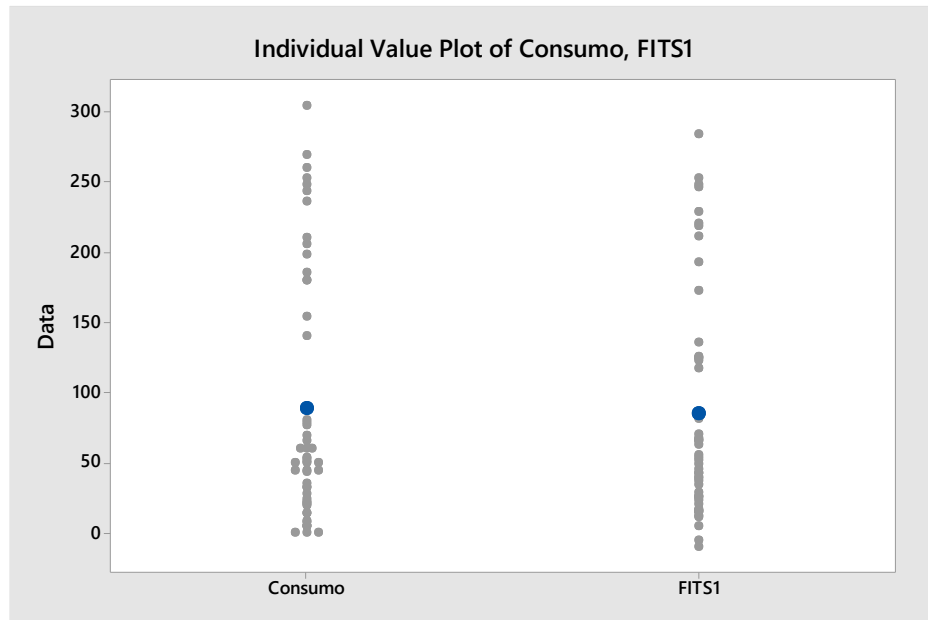


Figura 4.7 Prueba de Medias del Consumo y Ajuste.

## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

En la investigación realizada para planificar, justificar y desarrollar un modelo de pronóstico que ayude en el control de inventarios de futuras empresas del sector industrial con tecnologías 4.0 se presenta a continuación el mejor método de acuerdo al análisis detallado de diferentes estudios estadísticos.

En este apartado se explicará de forma detallada el desarrollo de la metodología para la selección del mejor modelo estadístico conforme a la necesidad de la compañía con datos anteriormente recopilados, partiendo de la búsqueda en años previos para determinar las mayores ventas por semana, consumos de gramos inventariados, pero sobre todo conocer más sobre los movimientos en las demandas por parte del cliente.

En la figura 4.2 del apartado anterior se comenzó haciendo el análisis del consumo de material como tendencia de modelo lineal considerando como variable principal los gramos. De ante mano la metodología se fue siguiendo conforme el comportamiento de los datos nos iban guiando, iniciando con Regresión Lineal solo para conocer el comportamiento gráfico y posteriormente Suavización Exponencial Simple y Suavización Exponencial Doble para conocer el suavizado y la tendencia que se explicara más adelante.

Con base en la Suavización Exponencial Doble se obtuvieron los mejores resultados  $\alpha=0.4$ ,  $\gamma=0.3$  respectivamente. Estos resultados analizados fueron realizados en el programa Minitab® donde se puede observar los pronósticos más asertivos con base en la confiabilidad, MAPE, MAD y MSD. Cabe mencionar que fue de gran importancia y analizando el ajuste de los datos para que nuestras iteraciones conforme al cambio de las dos constantes fueran lo más precisas en nuestros pronósticos.

También se muestra los resultados de un análisis por Mann-Whitney acerca del consumo esto para observar el comportamiento de la mediana y las estimaciones de diferencia. Este método se realizó recordado que en el apartado cuatro observamos que los datos no eran normales y continuamos con pruebas no paramétricas para ampliar nuestro panorama estadístico. De igual forma se hizo la tabulación por el Método Kruskal-Wallis vs Ajuste y así para dar a conocer de manera detallada el ajuste con base en la mediana y ver el comportamiento de nuestro desarrollo.

En la tabla 4.11 como resultado se obtuvo las pruebas de hipótesis para dar a conocer los valores del *P-value* y así saber el nivel de confiabilidad de nuestro análisis y desarrollo propuesto por parte de esta metodología.

Para concluir el apartado análisis de resultados se realizó la última prueba de medias del consumo vs ajuste para poder determinar si la relación del *P-value* es aceptable.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

De forma resumida se hace mención de la problemática de la compañía The 3D House<sup>®</sup>, el planteamiento del mismo y la metodología para obtener la mejor opción confiable para la adquisición del material a tiempo y en forma.

El propósito fundamental de dicha investigación fue establecer pronósticos de las demandas confiables para poder satisfacer la demanda solicitada por el cliente, recordando los sectores principales de venta, tales como la industria maquiladora, sectores educativos (universidades, preparatorias, incubadoras de empresas).

### **6.1 Conclusiones.**

Con base en el estudio realizado en la metodología de esta investigación se puede establecer la verificación del modelo. Para concluir la parte análisis de resultados se realizó la última prueba de medias del consumo vs ajuste para poder determinar si la relación del *P-value* es aceptable. Cabe destacar que el análisis fue lo más detallado posible para que nuestro pronóstico se apegara lo posible, revisando una y otra vez los ajustes, métodos y diversas metodologías para saber cuál era factible para la compañía y de esta forma ahorra material y mejorar niveles de inventarios.



Concluyendo con un estudio estadístico con base en Regresión Lineal y la Suavización Exponencial Doble se obtuvieron las mejores constantes de suavización y tendencia respectivamente  $\alpha=0.4$ ,  $\gamma=0.3$  y con ello nuestro pronóstico con mayor exactitud. Cabe mencionar que conforme se analizaron los datos al principio se pretendía hacer un análisis con datos normales, pero conforme a nuestro estudio de prueba de normalidad fue lo contrario nos arrojó pruebas no paramétricas que se explicaron anteriormente.

#### **6.1.1 Respuesta a la Pregunta de Investigación.**

En este apartado se dará respuesta a la pregunta de investigación planteada desde el inicio de la investigación, la cual fue: ¿Cuál es el mejor modelo de pronósticos de las demandas, para establecer las cantidades a comprar en apego a la demanda de producción?

Con base en el desarrollo de la metodología para dar respuesta con un análisis estadístico a dicha investigación, partiendo de los datos históricos obtenidos en el año 2018 para la demanda correspondiente, con los cuales se pudo determinar normalidades y modelos que más se ajustan a la problemática y así definir por medio de comparaciones estadísticas el mejor modelo que se apegue a la situación, tales como pruebas de varianzas, medianas, Suavización

Exponencial Simple y Doble y Pruebas no paramétricas Mann-Whitney y Wilcoxon.

### **6.1.2 Respuesta a el Análisis de la Hipótesis.**

En esta sección se estudió si la prueba de hipótesis planteada al inicio de la investigación puede ser aceptada. En el capítulo 4 se realizó el análisis para las pruebas de hipótesis, comparación de medianas y varianzas para determinar que los modelos de pronósticos cuantitativos elegidos sean lo más certeros posibles a los datos reales o estadísticamente hablando con el menor rango posible, con base en las pruebas el *P-value* fue de 94.96% por el método Wilcoxon para medianas. Con esto se concluye que la  $H_0$  es aceptada con un intervalo de confianza del ~95%.

### **6.1.3 Respuesta al Objetivo General.**

Con el análisis de los resultados se hizo una revisión de los objetivos planteados en el Capítulo 1 el cual fue: Definir cuál modelo de pronósticos cuantitativo es el que mejor se apega a la demanda histórica de los datos disponibles de tal manera que mantenga los inventarios de materia prima en niveles adecuados. El objetivo fue cumplido con el desarrollo de la metodología para analizar cuál fue el mejor método para mantener lo inventario en niveles

adecuados conforme la demanda solicitada por los clientes, Suavización Exponencial Doble y el seguimiento con Pruebas no paramétricas fueron de gran ayuda para poder cumplir como un modelo de fiabilidad.

## **6.2 Recomendaciones.**

En la presente investigación se realizó con la finalidad de contribuir en diversas actividades de índole profesional por ejemplo universidades e industrias automotrices, médicas y aeroespaciales. Es por ello que se pretende extender este análisis al resto de sectores antes mencionados con un propósito por delante aportar a la humanidad metodologías de pronósticos para mayor confiabilidad con dichas metodologías que sirvan para resolver problemas de carácter estadístico.

También teniendo en cuenta que los modelos antes estudiados tienen aplicabilidad general por lo que aparte de áreas universitarias e industrias manufactureras pudiera aplicarse a algún producto. La última recomendación que haría sería la posibilidad de mejorar la fiabilidad de algún método estadístico desde la parte matemática hasta la forma de aplicación en programas de cómputo aplicado para facilitar los análisis de modelos e inclusive hacer predicciones con mayor certeza.

## BIBLIOGRAFIA.

- Alarcón, (1997). *Revisión del método de pronósticos del texto. Elementos de producción.* Estado de México, México.
- Bedoya, M. (2018). *Metodos de pronosticos. Administracion de la demanda.* Estado de México, México.
- Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons.*
- Calero, (2000). *Investigación cualitativa y cuantitativa.* Problemas no resueltos en los debates actuales. *Rev. Cubana Endocrinol* 2000; 11 (3): 192-8.
- Chapman S. (2006). *Planificación y Control de la Producción.* México: Pearson Educación Naucalpan de Juarez, Estado de México, México.
- Chase R., Jacobs R. y Aquilano N. (2009). *Administración de Operaciones: Producción y Cadena de Suministros.* 12ma Ed. McGraw-Hill. México D.F. México.
- Cohen, (1998). *Gestión de recursos FI UBA.* 1ra. Ed MccGraw-Hill. México
- Fernández y Días, (2002). *Diferencias entre investigación cualitativa y cuantitativa*
- Ferrín Gutiérrez (2007). *Gestión de stocks en la logística de almacenes,* FC Editorial, pag.47.
- González, M., Rodríguez-Morachis. (2017). *Análisis y Selección de un Modelo de Pronósticos Cuantitativo para una Empresa en el Sector Electrónico.* Tesis de Maestría del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, México.
- Groover, M.L. (2013). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems.* Wiley. Ed. 5ta, USA/
- Hanke J. y Wichern D (2010). *Pronósticos en los negocios.* 9na Ed. Pearson Educación Naucalpan de Juarez, Estado de México, México.

- Hernández S. Téllez S. "Planeación y Control de la Producción". Ingeniería de la UNAM. (Documento Web). Recuperado de: <http://www.ingenieria.unam.mx/industriales/descargas/documentos.pdf>. 22 de Febrero 2016.
- Hoffman, E.G. *Jig And Fixtures Design*. DELMAR CENGAGE Learning. (Documento Web). 2004  
<https://administration21.files.wordpress.com/2017/01/pronc3b3sticos-holt-winters-omr-nov2016.pdf>  
 10 de marzo de 2004.
- Kalpakjian, S. y Schmid, S.R. (2009). *Manufacturing Engineering and Technology*. PEARSON. Ed. 6ta.
- Krajewski L., Ritzman L. y Manhotra M. (2008). *Administración de Operaciones: Procesos y Cadena de Valor*. 8va Ed. Pearson Educación Naucalpan de Juárez, Estado de México, México.
- Landeta J. El método Delphi. Una técnica de previsión del futuro. Barcelona. Ariel. 2002:31-35;93-94.
- Linstone, H., Turoff, M. *The Delphi Method. Techniques and Applications*, Addison-Wesley, 1975, pag.3
- Macias, (2007). Metodología para calcular el pronóstico de la demanda y una medición de su precisión, en una empresa de autopartes: Caso de estudio.
- Maguiña, (2016). *El método de pronóstico Holt-winters*. 1ra Ed. Pearson, Estado de México, México.
- Makridakis, Spyros. (1993). *Pronósticos. Estrategia y Planificación para el siglo XXI*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos, S.A.
- Medina-Zarate, J., Rodríguez-Morachis, M.A. y Zorrilla-Briones, F. (2015). *Análisis e Implementación de un Modelo de Pronósticos para la Planeación de la Producción en un Proceso de Fabricación de Condensadores y Evaporadores*. Tesis de Maestría del Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, México.
- Monje, (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Guía didáctica*. Pearson. Ed. 6ta.
- Moya Navarro, (1999). *Control de inventarios y teoría de colas*, EUNED, p.19.

- Moya, (1999). *Control de inventarios y teoría de colas*, EUNED, 1999, pag.19
- Muller, (2006). *Fundamentos de administración de inventarios*, Editorial Norma, 2005, pag.1
- Pérez, (2010). *Gestión de compras en el pequeño comercio*. Editorial CEP S.L. México.
- Pilco y Ruiz, (2015). La investigación de mercados como una disciplina estratégica, ESPOCH.
- Pîrjan, A. y Petroşanu, D.M. (2013). 3-D printing: The Impact of 3d Printing Technology on the Society and Economy. Journal of Information Systems & Operations Management; Bucharest, 1-11.
- Quintero. "Capacidad de producción: ¿Qué es y cómo se calcula?". (Documento Web). 2016. <https://ingenioempresa.com/capacidad-produccion-empresa/>. 11 de Abril de 2016.
- Reyes, (2009). *Administración de operaciones. Métodos de pronósticos*. México: Estado de México.
- Rodríguez-Coy, M., & Rodríguez -Morachis, M. (2010). Aplicación de métodos de pronósticos en productos con demandas inciertas. 3er. Congreso Internacional CIPITECH 2010.
- Sánchez, J. (2012). Aplicaciones prácticas de los métodos estadísticos para pronósticos en series de tiempo. Revista Universidad Eafit, 81-95.
- Thompson, (2006). *Dirección de Marketing Conceptos Esenciales*, 1ra Ed., de Kotler Philip, Prentice Hall, USA.
- Vardhan, G.H., Charan, G.H., Reddy, P.V.S. y Kumar, K.S. (2014). 3D Printing: The Dawn of a New Era in Manufacturing. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, Vol. 2, No 8, 2373-2376.
- Vargas, (2015). *Administración de la demanda y plan de compras del PEE*. ESAN, México.
- WU, C.J.; *et al.*, "Application of regression models to predict harmonic voltage and current growth trend from measurement data at secondary substations". IEEE Transactions on Power Delivery, 1998, vol.13, n.3, p. 793-799, [Consultado: junio 2013], Disponible en: <http://ieeexplore.ieee.org/iel4/61/15033/00686976.pdf>, ISSN 0885-8977