

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de políticas de reabastecimiento de inventario para una bodega de
piezas de repuestos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIEROS INDUSTRIALES

Presentado por:

Ever Ricardo Mendoza Andrade

Diana Alexandra Otacoma Lasluisa

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por estar siempre guiándome y darme la fuerza para hacer todo esto posible.

A mis padres por cuidarme, instruirme y ser siempre un pilar de apoyo.

Ever Ricardo Mendoza Andrade

AGRADECIMIENTOS

A Dios con todo mi corazón por ser esa luz guía en mi camino.

A mis amados padres Manuel Augusto Otacoma y María Angelita Lasluisa, quienes con mucho amor y esfuerzo me dieron la oportunidad de estudiar y en los momentos más difíciles, nunca me faltó nada; este logro es de ustedes por ser ese apoyo total en este camino.

A mis hermanas por ser mis mejores amigas y siempre ser mis críticas constructivas.

A mi tutor M.Sc. Jaime Macías, por todo el respaldo brindado para esta culminación exitosa de este trabajo.

A mi compañero de tesis Ricardo Mendoza por su paciencia y dedicación en esta tarea.

A todos mis familiares y amigos que me han acompañado en estos años de estudio, cada consejo, cada sonrisa, cada abrazo sincero y cada granito de apoyo puesto en mí se los agradezco, porque me han impulsado a dar cada paso.

Mi gratitud y respeto siempre.

Diana Alexandra Otacoma Lasluisa

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Ever Ricardo Mendoza Andrade* y *Diana Alexandra Otacoma Lasluisa*, damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”.



Ever Ricardo Mendoza Andrade

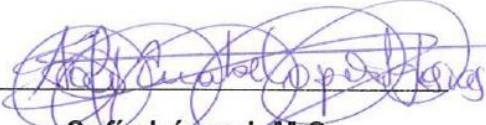
Autor 1



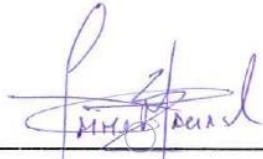
Diana Alexandra Otacoma Lasluisa

Autor 2

EVALUADORES



Sofía López I. M.Sc.
PROFESORA DE LA MATERIA



Jaime Macías A. M.Sc.
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El presente proyecto de titulación se llevó a cabo en una bodega de piezas y repuestos de una fábrica de productos para la alimentación y cuidado animal localizada en la ciudad de Durán; la cual presenta ocurrencias de desabastos, lo cual implica un retraso en los programas de producción debido a la falta de la pieza, con el fin de retomar las actividades lo más pronto posible esta debe incurrir en pedir de manera emergente lo cual genera un costo adicional por transporte inmediato elevando así, el costo de la gestión de inventario.

El objetivo principal de este proyecto es definir políticas de inventario que permitan conocer los niveles de existencias adecuados para aquellos ítems los cuales generan estas paras imprevistas debido a la falta de estos; lo cual se pretende que disminuya el costo de la gestión de inventario en al menos un 5%.

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó la metodología DMAIC, conformado por 5 etapas, la etapa donde se define el problema o “Define”, la etapa donde se recolecta y se mide los datos; “Measure”, la etapa donde se analizan las causas del problema; “Analyze”, la etapa donde se corrige o se disminuye el problema en base a las soluciones propuestas; “Implementation” y la etapa donde se proponen planes para evitar que el problema vuelva a ocurrir; “Control”.

Ya realizadas las 3 primeras etapas, se propusieron las siguientes soluciones: Un sistema de reabastecimiento coordinado, el cual permite igualar los tiempos de reabastecimiento de un grupo de ítems para colocarlos en una misma orden compras y así reducir el número de órdenes que se realizan, acompañado de una política de revisión periódica (T, S) para conocer las existencias que se deben mantener para no incurrir a desabastos dentro de los periodos de revisión hasta la llegada de los ítems.

También se elaboró un plan para la toma física del inventario, que permitan un mejor control de este.

A través de las simulaciones llevadas a cabo, se observó que las soluciones propuestas logran reducir los niveles de desabasto manteniendo bajos niveles de inventario.

Palabras Clave: Inventario, Repuestos, Desabasto, Revisión Periódica, Reabastecimiento coordinado, Toma Física de Inventario.

ABSTRACT

The present titling project was carried out in a warehouse of spare parts of a factory of products for food and animal care; which presents occurrences of stockout, which implies a delay in the production programs due to the lack of the piece, in order to resume the activities as soon as possible this obligation incur in ordering in an emergent purchase which generates an additional cost for immediate transport thus raising the cost of inventory management.

The main objective of this project is to define inventory policies that should know the appropriate stock levels for those items which these unforeseen parameters due to the lack of these; which is intended to reduce the cost of inventory management by at least 5%. For the development of this project, select the DMAIC methodology, according to 5 stages, the stage where the problem is defined or "Define", the stage where the data is collected and measured; "Measure", the stage where the causes of the problem are analyzed; "Analyze", the stage where the problem is corrected or analyzed based on the proposed solutions; "Implementation" and the stage where plans are proposed to prevent the problem from happening again; "Control".

Once the first 3 stages have been completed, the following solutions were proposed: A coordinated replenishment system, which allows to match the replenishment times of a group of items to place them in the same purchase order and thus reduce the number of orders that are made , accompanied by a policy of periodic review (T, S) to know the stocks that must be maintained so as not to incur overbills within the review periods until the arrival of the articles. A plan was also developed for the physical collection of the inventory, which specified a better control of it.

Through the simulations carried out, see the proposed solutions manage to reduce the levels of shortage to low levels of inventory.

Keywords: Inventory, Spare Parts, Stockout, Periodic Review, Coordinated Replenishment, Physical Inventory.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción	1
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Variable de Interés.....	3
1.3. Alcance del Proyecto	4
1.4. Restricciones	5
1.5. Justificación del problema.....	5
1.6. Objetivos.....	6
1.6.1. Objetivo General.....	6
1.6.2. Objetivos Específicos	6
1.7. Marco Teórico.....	6
CAPÍTULO 2	12
2. Metodología	12
2.1. Definir	12
2.2. Medición	12
2.2.1. Verificación de los datos	13
2.2.2. Mapeo de Procesos.....	20
2.2.3. Estratificación de datos.....	24
2.2.4. Problema Enfocado	27
2.3. Análisis	28
2.3.1. Lluvia de Ideas	28
2.3.2. Ponderación de Causas.....	30
2.3.3. Plan de verificación de causas.....	32
2.3.4. Verificación de Causas	32
2.3.5. Causas Raíces	44

2.4. Mejora.....	45
2.4.1. Lluvia de ideas de soluciones	46
2.4.2. Selección de soluciones	46
2.4.3. Plan de Implementación de Soluciones	50
2.5. Implementación	52
2.5.1. Diseño de políticas de Inventario	52
2.5.2. Plan de toma física de inventario	67
2.6. Plan de Control	69
CAPÍTULO 3	70
3. Resultados.....	70
3.1. Políticas de Inventario.....	70
3.2. Toma física de inventario	73
CAPÍTULO 4	74
4. Conclusiones Y Recomendaciones.....	74
4.1. Conclusiones	74
4.2. Recomendaciones	74
BIBLIOGRAFÍA	75
APÉNDICES	76

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CD	Centro de Distribución
SIPOC	Supplier Input Process Output Customers
CTQ	Critical to Quality
VOC	Voice of Customers
SKU	Stock Keeping Unit
WC	Working Capital
EOQ	Cantidad óptima de pedido
R	Punto de reorden
A	Costo de ordenar
D	Demanda
H	Tasa del costo de mantener
P	Costo por unidad
LT	Lead time
SS	Stock de seguridad
DMAIC	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
CTQ	Critical to quality
SIPOC	Supplier, Input, Process, Output, Customer
4W+2H	What, Where, When, Who, How much, How
SKU	Stock Keeping Unit
EOQ	Economic Order Quantity (Cantidad económica de pedido)
VAN	Valor actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno
MSE	Mean squared error
SAP	Systems, Applications, Products in Data Processing

SIMBOLOGÍA

u	Unidades
\$	Dólares
\$/año	Dólares por año
\$/orden	Dólares por orden
u/mes	Unidades por mes
u/año	Unidades por año
h	Horas
min	Minuto
σ	Desviación estándar
z	Estadístico de prueba
%	Porcentaje
R ²	Coefficiente de determinación
α	Coefficiente de ajuste de magnitud de pronóstico
β	Coefficiente de ajuste de intervalos de pronóstico
SB	Coefficiente de ajuste de periodo de pronóstico
Kg	Kilogramo
H ₀	Hipótesis Nula
H ₁	Hipótesis Alterna
Tm	Tonelada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Situación actual de la bodega.....	2
Figura 1.2 Costo Mensual de la Gestión de Inventario del 2019.....	3
Figura 1.3 Definición del problema con la Herramienta 3W+2H	3
Figura 1.4 Obtención de indicadores a usar usando la herramienta CTQ.....	4
Figura 1.5 Definición de procesos de la bodega usando la herramienta SIPOC.....	5
Figura 2.1 Gemba Inventario de Bodega.....	14
Figura 2.2 E-mail de coordinación de bodega de los reportes de paras por repuestos.	19
Figura 2.3 Detalle de las Paras Imprevistas	20
Figura 2.4 Confiabilidad de la información del registro de paras	20
Figura 2.5 Diagrama de flujo del proceso de revisión de inventario.....	21
Figura 2.6 Diagrama de flujo del Proceso de Compras	22
Figura 2.7 Diagrama de flujo del proceso de Recepción de Materiales	23
Figura 2.8 Gráfica Pastel del Costo de Ítems Importados vs Locales	24
Figura 2.9 Gráfica de barras de consumo monetario por proveedores.	25
Figura 2.10 Gráfica de anillo de Clasificación de Ítems por criticidad	26
Figura 2.11 Gráfica de pastel de clasificación de Ítems por tipo de parte	26
Figura 2.12 Resumen de estratificación de los Ítems de bodega.....	27
Figura 2.13 Detalle de los ítems estratificados	27
Figura 2.14 Equipo de la bodega identificando causas mediante el uso de la herramienta Ishikawa.....	28
Figura 2.15 Diagrama Ishikawa para problema enfocado 1	29
Figura 2.16 Diagrama Ishikawa para problema enfocado 2.....	29
Figura 2.17 Diagrama Ishikawa para problema enfocado 3.....	30
Figura 2.18 Matriz Impacto-Control de Proveedor 1	30
Figura 2.19 Matriz Impacto-Control de Proveedor 2	31
Figura 2.20 Matriz Impacto-Control de Proveedor 3	31
Figura 2.21 Regresión Lineal Nivel de Inventario - Tiempos de entrega.....	35
Figura 2.22 Resumen de datos de Regresión Lineal y ANOVA.....	35
Figura 2.23 Documentos de ocurrencia de transportes emergentes.....	36
Figura 2.24 Prueba de diferencia de medias para causa 2.....	38
Figura 2.25 Gráfica de demanda semanal desde el año 2016 al año 2019 del Ítem 8003033.....	39

Figura 2.26 Gráfica de demanda semanal desde el año 2016 al año 2019 del Ítem 8002448	40
Figura 2.27 Gráfica de demanda semanal desde el año 2016 al año 2019 del Ítem 8002191	41
Figura 2.28 Regresión lineal de MSE y nivel de inventario	43
Figura 2.29 Cuadro de Causas raíces asociadas a una causa potencial.....	45
Figura 2.30 Lista de soluciones generadas a partir de una lluvia de ideas	46
Figura 2.31 Lista de soluciones generadas a partir de una lluvia de ideas	49
Figura 2.32 Matriz de tipos de demanda según sus coeficientes de variación y ADI	53
Figura 2.33 Consumo semanal del ítem 8002036	53
Figura 2.34 Consumo semanal del ítem 8000293	54
Figura 2.35 Consumo semanal del ítem 8000109	54
Figura 2.36 Consumo semanal del ítem 8002399	55
Figura 2.37 Consumo semanal del ítem 8003033	55
Figura 2.38 Consumo semanal del ítem 8001827	56
Figura 2.39 Consumo semanal del ítem 8002894	56
Figura 2.40 Consumo semanal del ítem 8002983	57
Figura 2.41 Consumo semanal del ítem 8002161	57
Figura 2.42 Consumo semanal del ítem 8002185	58
Figura 2.43 Consumo semanal del ítem 8002409	58
Figura 2.44 Consumo semanal del ítem 8002395	59
Figura 2.45 Consumo semanal del ítem 8003121	59
Figura 2.46 Consumo semanal del ítem 8003652	60
Figura 2.47 Consumo semanal del ítem 8002448	60
Figura 2.48 Consumo semanal del ítem 8001840	61
Figura 2.49 Consumo semanal del ítem 8001974	61
Figura 2.50 Modelo de pronóstico de aproximación de SB en Excel.	62
Figura 2.51 Clasificación de la demanda y modelos de gestión de inventario	63
Figura 2.52 Modelo de reabastecimiento coordinado en excel.	64
Figura 2.53 Modelo de revisión periódica en excel.....	66
Figura 2.54 Definición de stock máximos y tiempos de revisión para ítems de estudio	66
Figura 2.55 Cantidad de SKU's por clasificación de consumo monetario	67

Figura 3.1 Comparación del costo de la gestión de Inventario sin políticas - con políticas 70

Figura 3.2 Costo sin políticas y con políticas del proveedor 1 71

Figura 3.3 Costo sin políticas y con políticas del proveedor 2 72

Figura 3.4 Costo sin políticas y con políticas del proveedor 3 72

Figura 3.5 Diagrama de cajas costos mensuales sin políticas y con políticas 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 GAP del Proyecto	6
Tabla 1.2 Evaluación de Ahorro Mensual en tres escenarios	6
Tabla 2.1 Plan de Recolección de Datos.....	13
Tabla 2.2 Prueba Piloto para Validación del Inventario	14
Tabla 2.3 Cálculo del tamaño de muestra para validación del Inventario	14
Tabla 2.4 Verificación del Inventario.....	15
Tabla 2.5 Prueba piloto para Validación del Costo del Material	17
Tabla 2.6 Cálculo del Tamaño de muestra para la Validación del Costo del Material ...	17
Tabla 2.7 Verificación del Costo del Material.....	18
Tabla 2.8 Confiabilidad del Proveedor.....	19
Tabla 2.9 Plan de verificación de causas	32
Tabla 2.10 Tiempos de entrega para proveedor 1	33
Tabla 2.11 Tiempos de entrega para proveedor 2.....	33
Tabla 2.12 Tiempos de entrega para proveedor 3.....	34
Tabla 2.13 Diferencia de costos por transporte marítimo y aéreo por localización	37
Tabla 2.14 Diferencia de costos por transporte marítimo y aéreo por ítem.....	37
Tabla 2.15 Coeficientes CV2 y ADI por ítem	39
Tabla 2.16 Cálculo de MSE para ítem 8003033	40
Tabla 2.17 Cálculo de MSE para ítem 8002448	41
Tabla 2.18 Cálculo de MSE para ítem 8002191	42
Tabla 2.19 Resultados de Regresión Lineal realizada en Excel	43
Tabla 2.20 Análisis 5 ¿Por qué? para causa 1	44
Tabla 2.21 Análisis 5 ¿Por qué? para causa 2	45
Tabla 2.22 Análisis 5 ¿Por qué? para causa 3	45
Tabla 2.23 Análisis de impacto para soluciones propuestas	48
Tabla 2.24 Análisis de Esfuerzo para soluciones propuestas	49
Tabla 2.25 Plan de implementación de solución 4.....	50
Tabla 2.26 Cronograma de actividades de solución 4	51
Tabla 2.27 Plan de implementación de solución 5.....	51
Tabla 2.28 Cronograma de actividades de solución 5	52
Tabla 2.29 Coeficientes de ajuste, valores de pronóstico y MSE de ítems	62
Tabla 2.30 EOQ y tiempos de revisión por reabastecimiento coordinado por ítem.....	65

Tabla 2.31 Escenarios para Toma Física de Inventario.....	68
Tabla 2.32 Plan de Toma Física seleccionado.	68
Tabla 2.33 Plan de control de soluciones	69
Tabla 3.1 Costos asociados al inventario por proveedor sin políticas - con políticas. ...	71
Tabla 3.2 Análisis de tiempos para toma física de inventario antes y después de plan definido	73

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El inventario es el conjunto de bienes corpóreos, tangibles y en existencia, propios y de disponibilidad inmediata para su consumo (Perdomo, 2000).

Todas las organizaciones guardan inventario, este puede ser de materia prima, trabajos en proceso, suministros utilizados en las operaciones y producto terminado. En ciertas ocasiones, el inventario va desde algo sencillo como una botella con líquido limpiavidrios para el mantenimiento del edificio hasta los ingredientes o subensambles usados para la manufactura.

El inventario conlleva un número de costos, estos costos suelen incluir, costo de oportunidad, costos por espacio, costos laborales por recepción, despacho, chequeo o embalaje, costos por deterioros, daños, obsolescencias y robos. Los costos de inventario generalmente caen más en costos por ordenar y costos por mantener (Muller, 2003).

Este proyecto está destinado al diseño de políticas de inventario para una bodega de piezas y repuestos de una fábrica de insumos agrícolas, ganaderos y de acuicultura. Para muchas empresas, las tareas de mantenimiento son la fuente más importante de la demanda de piezas y repuestos. Por lo general, estos artículos presentan una distribución desigual a lo largo del tiempo y es una causa importante de intermitencia complicando severamente el control del inventario de repuestos (Sha Zhu, Williem van Jaarsveld, & Rommert Dekker, 2019).

La bodega de la empresa objeto de estudio ha presentado problemas por desabasto de productos provocando paras en líneas de producción, pagos extras por compras de materiales urgentes, altos costos por mantener inventario de artículos de baja rotación y colocación extra de órdenes de compra; volviéndola candidato para un proyecto de mejora continua utilizando metodología DMAIC.

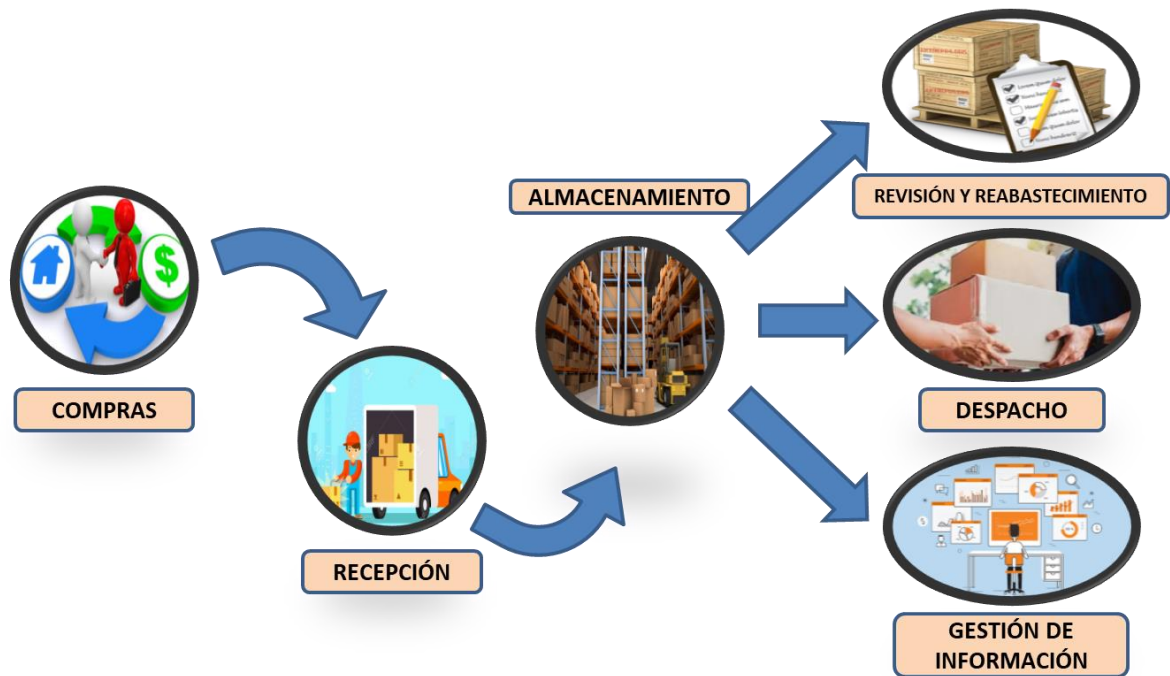


Figura 1.1 Situación actual de la bodega

1.1. Descripción del problema

La fábrica ubicada en la ciudad de Durán procesa granos para la elaboración y distribución de alimento animal y consta de 23 áreas entre líneas de producción y departamentos administrativos para su funcionamiento como se muestra en la figura 1.1. La bodega de piezas y repuestos debe de suministrar materiales a estas áreas, principalmente a las líneas de producción, donde, se ha reportado paras de producción debido a la falta de repuestos, generando costos por desabasto, con el fin de restaurar la operatividad de la línea, la bodega debe incurrir en la colocación de órdenes de compra, y debido a la urgencia debe pagar valores adicionales para el envío rápido de éstas. En consecuencia, esto se ve reflejado en el Costo Mensual de la Gestión de Inventario, la cual ha tenido los siguientes valores desde enero 2019 a septiembre 2019.

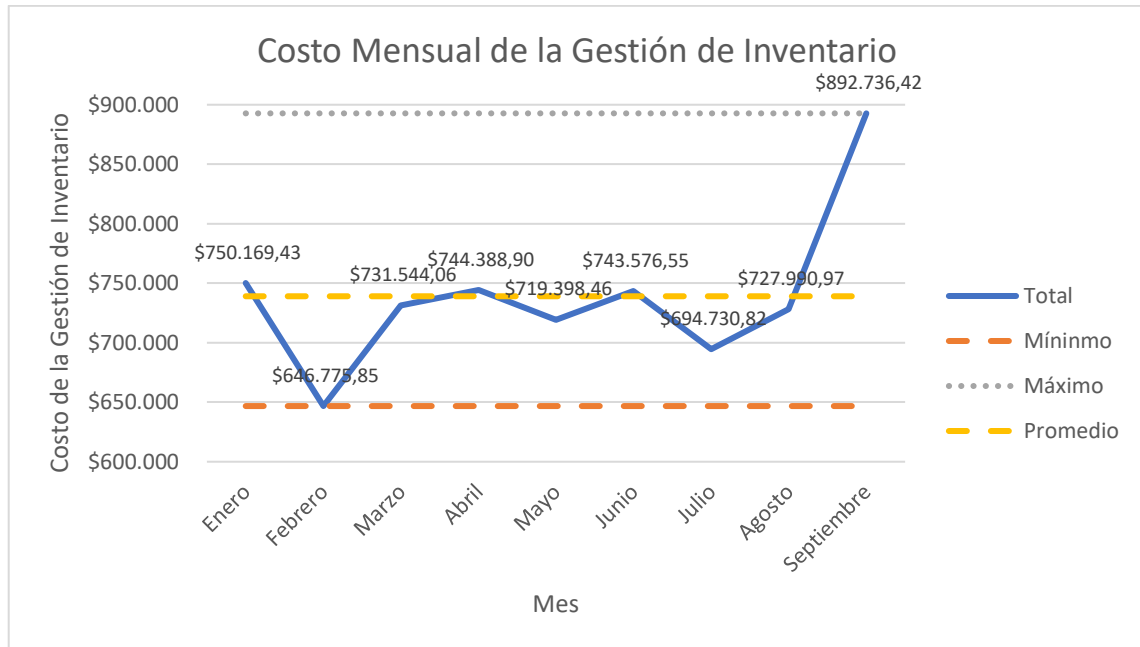


Figura 1.2 Costo Mensual de la Gestión de Inventario del 2019

Como se puede observar en la figura 1.2, el Costo Promedio de la Gestión de Inventario es de \$739.034,61 al mes, teniendo valor máximo \$892.736,42 y mínimo de \$646.775,85.

Utilizando la herramienta 3W+2H se procedió a realizar el planteamiento del problema como se puede visualizar en la figura 1.3.

¿Qué?	Incremento en el Costo Mensual de la Gestión de Inventario
¿Dónde?	Bodega de piezas de repuesto de la fábrica localizada en la ciudad de Durán
¿Cuándo?	Desde 1 de enero del año 2019 al 30 de septiembre del año 2019
¿Qué tanto?	El promedio mensual es de \$ 739.034,61
¿Cómo lo sé?	El mínimo identificado es de \$ 646.775,85

Figura 1.3 Definición del problema con la Herramienta 3W+2H

1.2. Variable de Interés

Para dar inicio al proyecto, es necesario definir, cuál va a hacer la variable de interés a mejorar, aplicando las herramientas, técnicas y conocimientos de ingeniería industrial.

Tomando en consideración los principios del desarrollo sostenible, el proyecto que se realiza tendrá énfasis en la triple línea base, concentrándose principalmente en

el pilar económico para la empresa y desarrollando el pilar social y ambiental como efectos colaterales de la implementación de mejora del pilar económico.

Una vez definido los intereses del proyecto, se utilizó la herramienta VOC (Voice of Customer), con la cual se obtuvieron las necesidades que el cliente desea resolver, elaborando un Árbol de la Calidad o CTQ (Critical Tree Quality) estas necesidades fueron traducidas a los indicadores que se muestra en la figura 1.4.

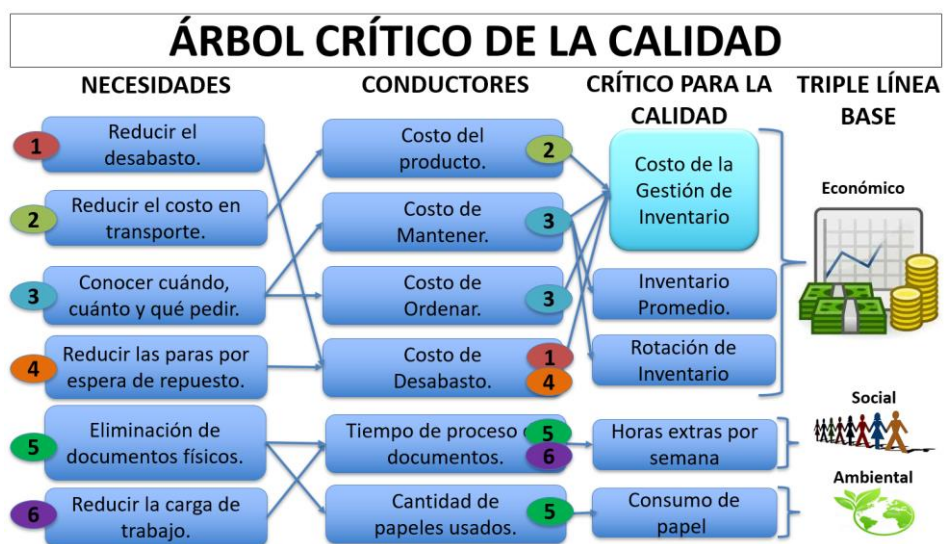


Figura 1.4 Obtención de indicadores a usar usando la herramienta CTQ

1.3. Alcance del Proyecto

El proyecto es válido para la bodega de piezas y repuestos de una fábrica de alimento para animales localizada en la ciudad de Durán de la provincia del Guayas, cuya capacidad de producción supera las 94.000 toneladas métricas anuales. El estudio toma datos desde el 1 de enero del 2019 al 30 de septiembre del 2019.

Los procesos considerados serán aquellos que estén relacionados al inventario de la bodega, tales como compras, recepción y despacho, tal y como se muestra en la figura 1.5.

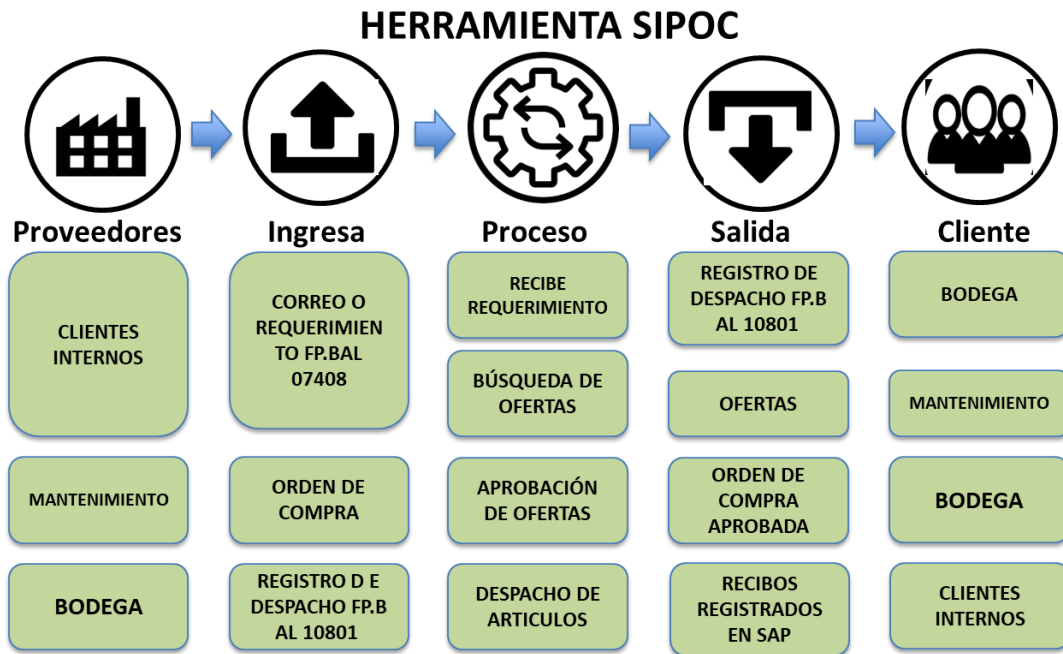


Figura 1.5 Definición de procesos de la bodega usando la herramienta SIPOC

1.4. Restricciones

Entre las principales restricciones del proyecto se tiene:

- Tiempos de espera de envíos de proveedores hasta de seis meses.
- La bodega no cuenta con datos de Inventario Promedio.
- La bodega no cuenta con registros de desabasto.

1.5. Justificación del problema

Las empresas de manufactura suelen tener varios tipos de bodegas dependiendo de su funcionalidad; la bodega la cual almacena piezas para el funcionamiento de las máquinas es de las más costosas debido al alto precio de las partes; dependiendo de la complejidad de las máquinas éstas deben almacenar grandes cantidades de SKUs (Stock Keeping Unit). La naturaleza esporádica de las paradas de máquinas hacen que la demanda de estas piezas sea irregular y no tenerlas dan como resultado la parada total de una línea de producción, por lo que es necesario tenerlas siendo activos que no generan dinero.

La fábrica ha visto un incremento del Costo de la Gestión de Inventario de la bodega de piezas y repuestos como se puede ver en la tabla 2.1 y 2.2; y busca la definición de políticas de inventario que le permitan mejorar la gestión con el objetivo de reducir el número de desabastos, los costos de materiales por traer de

manera urgente y las cantidades y número de veces a ordenar para mantener bajos niveles de inventario.

Tabla 1.1 GAP del Proyecto

Promedio	Punto de referencia (mínimo)	GAP
\$739.034,61	\$646.775,85	\$92.258,75

Tabla 1.2 Evaluación de Ahorro Mensual en tres escenarios

	Peor del Caso	Prácticamente el Peor de los Casos	Mejor de los Casos
GAP	\$92.258,75		
Reducción de GAP	5%	10%	15%
Objetivo	\$734.421,67	\$729.808,73	\$725.195,79
Ahorro Mensual	\$4.612,94	\$9.225,88	\$13.838,81
Ahorro Anual	\$55.355,25	\$110.710,51	\$166.065,76

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Definir políticas de inventario para reducir el Costo Mensual de la Gestión de Inventario en al menos un 5%, lo cual representa una reducción de \$ 55.355,25 al año.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Levantar las variables que responden al objetivo del proyecto.
- Analizar las causas que afectan a la gestión de la bodega.
- Realizar una simulación de las propuestas de mejora.

1.7. Marco Teórico

Mejora Continua: Es la consecuencia de una forma ordenada de administrar y mejorar los procesos, identificando causas o restricciones, estableciendo nuevas ideas y proyectos de mejora, llevando a cabo planes, estudiando y aprendiendo de los resultados obtenidos y estandarizando los efectos positivos para proyectar y controlar el nuevo nivel de desempeño (Gutiérrez, Gestión de la Calidad e ISO-9000:2005, 2010).

Seis Sigma: Es una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; esto lleva a encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio, tomando como punto de referencia en todo momento a los clientes y sus necesidades. Esta estrategia se apoya en una metodología altamente sistemática y cuantitativa, orientada a la mejora de la calidad del producto o del proceso (Gutiérrez, Introducción a Seis Sigma, 2010).

Etapas de un Proyecto Seis Sigma: También conocido como herramienta DMAMC o DMAIC por sus siglas en inglés, consiste en 5 etapas.

Definir (D): La etapa la cual se enfoca el proyecto, se delimita y se sientan las bases para su éxito. Por ello, al finalizar esta fase se debe tener el claro objetivo del proyecto, la forma de medir su éxito, su alcance, los beneficios potenciales y las personas que intervienen en el proyecto.

Medir (M): Etapa cuyo objetivo es entender y cuantificar mejor la magnitud del problema o situación que se aborda con el proyecto. Por ello se define el proceso a un nivel más detallado para entender el flujo del trabajo, los puntos de decisión y los detalles de su funcionamiento; se establece con mayor detalle las métricas (las Y 's) con las que se evaluará el éxito del proyecto, y se analiza y valida el sistema de medición para garantizar que las Y 's pueden medirse en forma consistente.

Analizar (A): En esta etapa se identifican las causas raíces del problema (identificar las x vitales), entender como estas generan el problema y confirmar con datos. Se trata entonces de entender cómo y porque se genera el problema, buscando llegar hasta las causas más profundas y confirmar estas con datos. Obviamente, para encontrar la X Vitales, primero será necesario identificar todas las variables de entrada y/o posibles causas del problema.

Mejorar (M) o Improve (I): En esta etapa el objetivo es proponer e implementar soluciones que atiendan las causas raíces y asegurarse de que se corrija o reduzca el problema. Es recomendable generar diferentes alternativas de solución que atiendan las diversas causas, apoyándose en algunas de las herramientas. La clave es pensar en soluciones que ataquen la fuente del problema y no el efecto.

Controlar (C): Una vez que se alcanzaron las mejoras deseadas, en esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas (Controlar las X vitales) y se cierra el proyecto. Muchas veces esta etapa es la más difícil, puesto que se trata de que los cambios hechos para evaluar las acciones de mejora se vuelvan permanentes se institucionalicen y generalicen (Gutierrez, 2010).

Inventario: Abarca toda la materia prima, el trabajo en proceso y los bienes terminados dentro de la cadena de suministro. Cambiar las políticas de inventario puede alterar drásticamente su eficiencia y capacidad de respuesta (Peter Meindl & Sunil Chopra, 2008).

Gestión de Inventario: Es la transformación del activo de alto costo “Inventario” a uno menos costoso llamado “Información” la cual debe ser oportuna, precisa, confiable y consistente (Viale J. David, 1996).

Políticas de inventario: se refiere a la filosofía de como la organización da respuestas a las preguntas de cuanta cantidad ordenar y en qué momento se realiza una orden e incluye el posicionamiento geográfico de los stocks. Esta decisión depende del comportamiento de la demanda y de la estrategia de la compañía. En apartados posteriores se hará una descripción más amplia de este concepto, así como se expondrán las principales políticas utilizadas para el manejo de inventario (Cortés, 2014).

Son estrategias para tomar decisiones con respecto a la gestión del inventario.

Políticas de reabastecimiento, de ordenar, de recepción, de despacho, de almacenamiento (Peter Meindl & Sunil Chopra, 2008).

Costo del Inventario: Es el valor monetario asociada a las actividades de tener inventario, estos incluyen costos de ordenar, mantener, almacenar, desabasto, transporte. (Viale J. David, 1996).

$$\text{Costo de la Gestión de Inventario} = CP + An + H\bar{I} + C_u \quad (1.1)$$

Donde:

C: Costo de Material

P: Compras

A: Costo fijo de ordenar

n: cantidad de órdenes colocadas en el periodo

H: Costo de mantener

\bar{I} : Inventario Promedio

C_u : Costo de Desabasto

Costo de Material: El precio promedio pagado por unidad comprada.

Costo de Ordenar: El costo de pedido incluye todos los costos incrementales asociados con la colocación o la recepción de un pedido adicional en los que se incurre independientemente del tamaño del pedido.

Costo de Mantener: El costo de retención se calcula como un porcentaje del costo de un producto y es la suma de los siguientes componentes principales: Costo de capital, Costo de obsolescencia, Costo de manejo, Costo de ocupación y Costos varios.

Costo de Desabasto: El costo por escasez de inventario debe incluir el margen de pérdida por las ventas actuales, así como por las futuras si el cliente no vuelve (Sunil Chopra & Peter Meindl, 2013).

Métricas de Inventario: Utilizadas para medir el desempeño de la gestión de inventario. Tales como:

Inventario de Ciclo: Es la cantidad promedio de inventario utilizado para satisfacer la demanda entre recepciones de embarques del proveedor. El tamaño del inventario de ciclo depende de la producción, el transporte o la compra de material en grandes lotes.

Inventario de Seguridad: Es el que se mantiene en caso de que la demanda exceda las expectativas; se mantiene para contrarrestar la incertidumbre.

Inventario Estacional: Es el que se acumula para contrarrestar la variabilidad estacional predecible de la demanda.

Nivel de Disponibilidad: Es la fracción de la demanda que se satisface a tiempo con producto mantenido en el inventario.

Inventario Promedio: mide la cantidad promedio de inventario mantenido. Puede ser medido en unidades, días demanda o valor financiero.

Rotación de inventario: mide el número de veces que el inventario rota en un año. Es la razón del inventario promedio al costo de los productos vendidos (Sunil Chopra & Peter Meindl, 2013).

Cantidad Óptima a Pedir: o EOQ (Economic Order Quantity) es fórmula desarrollada para ayudar a los almacenes a determinar que tanto producto se debe comprar (Muller, 2003).

Para calcular el EOQ, se asume:

A: Costo de Ordenar

D: Cantidad de la Demanda anual

h: factor del costo de mantener inventario

$$EOQ = \sqrt{\frac{2AD}{h}} \quad (1.2)$$

Políticas de reabastecimiento: Es la decisión respecto a cuándo y cuánto reordenar. Estas decisiones determinan los inventarios de ciclo y de seguridad, junto con la tasa de satisfacción fr y el nivel de servicio del ciclo CSL. Las políticas de reabastecimiento pueden adoptar varias formas. Aquí se restringe la atención a dos tipos:

Revisión Continua: El inventario se inspección continuamente y se coloca un pedido con un tamaño de lote Q cuando el inventario disminuye al punto de hacer un nuevo pedido (ROP, reorder point).

Revisión Periódica: El estado del inventario se inspecciona a intervalos regulares y se hacen un pedido para elevar el nivel de inventario hasta un umbral especificado (Sunil Chopra & Peter Meindl, 2013).

Diagrama de Pareto: Es un gráfico especial de barras cuyo campo de análisis o aplicación son los datos categóricos cuyo objetivo es ayudar a localizar el o los problemas vitales, así como sus causas más importantes. La idea es escoger un proyecto que pueda alcanzar la mejora más grande con el menor esfuerzo.

El diagrama se sustenta en el llamado principio de Pareto, conocido como "Ley 80-20" el cual reconoce que solo unos pocos elementos (20%) generan la mayor parte del efecto (80%) (Gutiérrez, Calidad Total y Productividad 3° Edición, 2010)

Diagrama Ishikawa: Herramienta para la búsqueda de causas relacionadas a un efecto (o problema) de forma gráfica (Gutiérrez, Calidad Total y Productividad 3^o Edición, 2010).

Muestreo aleatorio simple: Consiste en seleccionar un grupo de n elementos de la población, de tal forma que cada muestra de tamaño n tenga la misma probabilidad de ser seleccionada. (Gutiérrez, Calidad Total y Productividad 3^o Edición, 2010)

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo se llevó a cabo mediante la metodología de mejora continua de seis sigmas. Utilizando la herramienta DMAIC para establecer las etapas del proyecto Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Control.

2.1. Definir

El problema definido en el capítulo 1, fue determinado a partir de las necesidades del cliente, las cuales fueron identificadas utilizando la herramienta VOC (Voice of Customer) y traducidas a Indicadores con la herramienta CTQ (Critical to Quality), usando la fórmula del Costo de la Gestión de Inventario, la cual es la suma de los términos costo de material, costo de ordenar, costo de mantener y costo de desabasto, este fue calculado mes a mes para obtener un promedio mensual, utilizando una de las bases de datos otorgada por la fábrica objeto de estudio la cual contenía el movimiento de todos los SKU de la bodega. Además, se filtraron las entradas de las salidas para obtener el costo del material, con los números de documentos de las entradas de la base de datos, se obtuvo el número de pedidos, a partir del inventario actual y con las entradas y salidas de los ítems se calculó el inventario promedio y finalmente el costo por desabasto fue conseguido a partir de una base de registro de paros del área de producción, la cual contenía las incurridas, debido a la falta de un ítem de la bodega y el respectivo costo de hora parada por no tener ese ítem.

2.2. Medición

Una vez establecidas el marco del proyecto, los objetivos y el alcance se procedió a la siguiente etapa de medición, en esta se elaboró un plan de recolección de datos como detalla la tabla 2.1, para identificar de qué manera se pueden calcular las variables definidas en la etapa anterior, su cambio luego de la mejora aplicada y su uso para cálculos futuros.

Tabla 2.1 Plan de Recolección de Datos

¿QUÉ?				¿DÓNDE?	¿CUÁNDO?	¿CÓMO?		¿POR QUÉ?
Variable	Significado	Unidad de medida	Tipo de información			Método de Observación	Método de Recolección	
P(i)	Demanda	Cantidad	Cuantitativa-Discreta	Bodega de Repuestos	Etapas de Medición	GEMBA	Despachos de bodega	Consumo de artículos
L(N)	Tiempo de envío de ítems	Días	Cuantitativa-Continua	Bodega de Repuestos	Etapas de Medición	GEMBA	Data Histórica	Definición de políticas
C(i)	Costo Unitario de artículos	USD \$	Cuantitativa-Continua	Bodega de Repuestos	Etapas de Medición	GEMBA	Facturas de compra	Costo Total de Material
n	Número de Órdenes	Cantidad	Cuantitativa-Discreta	Bodega de Repuestos	Etapas de Medición	GEMBA	Registros de compras	Costo de Ordenar
Ip	Inventario Promedio	Cantidad	Cuantitativa-Discreta	Bodega de Repuestos	Etapas de Medición	GEMBA	Stock al Inicio y final de mes	Costo de Mantener Inventario
T(j)	Paras por desabasto	Horas	Cuantitativa-Continua	Líneas de Producción	Etapas de Medición	GEMBA	Registro de Paras	Costo por Desabasto

2.2.1. Verificación de los datos

Levantada la información en el plan de recolección de datos, fue necesario realizar una verificación de confiabilidad con la data de las tablas 2.2 y 2.3; para descartar que los datos carecían de soporte, para lo cual se tomó una muestra y se plantearon hipótesis.

Inventario Promedio

Para verificar que los datos del inventario promedio son correctos, se procedió a levantar la información del stock actual de los 2072 artículos en la bodega, con esto se comprueba de que al inicio y al final del mes se tiene el mismo nivel de confiabilidad.

Se tomo una muestra piloto de 12 artículos, de la cual se obtuvo que solo 1 de estos no cumplía con la data proporcionada, como se puede observar en la figura 2.1.

Tabla 2.2 Prueba Piloto para Validación del Inventario

PRUEBA PILOTO	
n' (Tamaño de prueba piloto)	12
p (Proporción de aciertos)	0.92
q (Proporción de fallos)	0.08

Tabla 2.3 Cálculo del tamaño de muestra para validación del Inventario

TAMAÑO DE MUESTRA	
N (tamaño de población)	2072
Z (Nivel de confianza)	90%
e (error de tolerancia)	8%
p (Proporción de aciertos)	0.92
q (Proporción de fallos)	0.08

Usando la fórmula para muestreo de proporciones, con un nivel de confiabilidad de 90% con un error tolerable del 8% se obtuvo que el tamaño de muestra óptimo para validar que al menos el 92% de los artículos en bodega están inventariados correctamente es 19 unidades, donde se obtuvo los resultados plasmados en la tabla 2.4.

$$n = \frac{NZ_{\alpha}^2 pq}{e^2(N-1) + Z_{\alpha}^2 pq} = 19 \quad (2.1)$$



Figura 2.1 Gemba Inventario de Bodega.

Tabla 2.4 Verificación del Inventario

Ítem de Muestra	STOCK SAP (Unidades)	STOCK GEMBA (Unidades)	VERIFICACIÓN
8002328	4	4	V
8002448	31	31	V
8001827	0	144	F
8002894	30	30	V
8002999	29	29	V
8002997	7	7	V
8002998	7	7	V
8003650	1	1	V
8001975	0	0	V
8003510	10	10	V
8004393	1	1	V
8004517	1	1	V
8004473	1	1	V
8004458	2	2	V
8003650	1	1	V
8003121	3	3	V
8004384	18	17	F
8004390	1	1	V
8003696	1	1	V

Se realiza una prueba de hipótesis para demostrar que:

Ho: Hipótesis nula.

H1: Hipótesis alterna.

Ho: Al menos el 92% del inventario de la bodega coincide con las existencias indicadas del sistema SAP.

H1: Menos del 92% del inventario de la bodega coincide con las existencias indicadas del sistema SAP.

Ho: $P \geq 92\%$

H1: $P < 92\%$

Prueba Estadística

$$Z_c = \frac{x - nP}{\sqrt{nPQ}} \quad (2.2)$$

Región de Rechazo

$$|Z_c| > |Z_{0,05/2}| \quad (2.3)$$

$$0,407 > 1,645 \quad (2.4)$$

Conclusión

No se Rechaza Ho, mediante la prueba estadística se puede concluir con un 95% de nivel de confianza que al menos el 92% del inventario de la bodega coincide con las existencias indicadas del sistema SAP.

Costo Unitario de artículos

Para verificar este término de la ecuación, se revisó una muestra piloto de la compra de 10 artículos y se los comparo con los datos del sistema para observar el precio de compra y las cantidades con que ingresaron al sistema, como se detalla en las tablas 2.5 y 2.6.

Se observó que 1 de las 10 unidades de muestreo fue ingresada al sistema de manera incorrecta, de igual manera se usó la fórmula de muestreo de proporciones para obtener el tamaño ideal de la muestra para validar que al menos el 90% de los artículos fueron ingresados al sistema de forma correcta con un nivel de confianza del 90% con un error tolerable del 8%, el resultado de este cálculo fueron 23 observaciones.

Tabla 2.5 Prueba piloto para Validación del Costo del Material

PRUEBA PILOTO	
n' (Tamaño de prueba piloto)	10
p (Proporción de aciertos)	0.90
q (Proporción de fallos)	0.10

Tabla 2.6 Cálculo del Tamaño de muestra para la Validación del Costo del Material

TAMAÑO DE MUESTRA	
N (tamaño de población)	2072
Z (Nivel de confianza)	90%
e (error de tolerancia)	8%
p (Proporción de aciertos)	0.90
q (Proporción de fallos)	0.10

Usando la fórmula para muestreo de proporciones, con un nivel de confiabilidad de 90% con un error tolerable del 8% se obtuvo que el tamaño de muestra óptimo para validar que al menos el 90% de los artículos en bodega están inventariados correctamente es 23 unidades, como se puede ver en la tabla 2.7.

$$n = \frac{NZ_{\alpha}^2 pq}{e^2(N-1) + Z_{\alpha}^2 pq} = 23 \quad (2.5)$$

Tabla 2.7 Verificación del Costo del Material

Código Ítem	Valor Sistema	Valor Factura	Cantidad ingresada en SAP	Cantidad en factura	Código Ítem	Valor Sistema	Valor Factura	Cantidad ingresada en SAP	Cantidad en factura
8004393	676,14	676,14	1 UND	1 UND	8000834	53,08	53,08	1 UND	1 UND
8004473	854,44	854,44	1 SET	1 SET	8003257	37,13	37,13	1 UND	1 UND
8004517	455,58	455,58	1 UND	1 UND	8004477	29,68	29,68	1 UND	1 UND
8004458	269,45	269,45	2 UND	2 UND	8003617	13,44	13,44	1 UND	1 UND
8003650	304,55	304,57	4 UND	4 UND	8003747	10,08	10,08	2 UND	2 UND
8003121	483,84	483,84	1 UND	1 UND	8003070	10,05	10,05	3 UND	3 UND
8004384	268,8	268,8	20 UND	12 UND	8003241	900,72	900,72	4 UND	4 UND
8004390	268,8	268,8	6 UND	6 UND	8001833	122,07	122,07	4 UND	4 UND
8000663	62,36	62,36	24 UND	24 UND	8000059	76,38	76,38	10 UND	10 UND
8003696	179,2	179,2	1 UND	1 UND	8000831	15,46	15,46	12 UND	12 UND
8001627	56,08	56,08	1 UND	1 UND	8000610	30,02	30,02	20 UND	20 UND
8000764	53,48	53,48	1 UND	1 UND					

Se realiza una prueba de hipótesis para demostrar que:

Ho: Hipótesis nula.

H1: Hipótesis alterna.

Ho: Al menos el 90% de los registros del valor unitario de los SKU de los documentos de compra coincide con los valores indicados en el sistema SAP.

H1: Menos del 90% de los registros del valor unitario de los SKU de los documentos de compra coincide con los valores indicados en el sistema SAP.

Ho: $P \geq 90\%$

H1: $P < 90\%$

Prueba Estadística

$$Z_c = \frac{x - nP}{\sqrt{nPQ}} \quad (2.6)$$

Región de Rechazo

$$|Z_c| > |Z_{0,05/2}| \quad (2.7)$$

$$0,904 > 1,645 \quad (2.8)$$

Conclusión

No se rechaza H_0 , mediante la prueba estadística, se puede concluir con un 95% de nivel de confianza que al menos el 90% del valor unitario de los SKU de los documentos de compra coincide con los valores indicados en el sistema SAP.

Tiempo de envío de ítems importados: Mediante data del sistema se puede visualizar la siguiente confiabilidad por proveedor, como se detalla en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Confiabilidad del Proveedor

Código de Proveedor	Promedio de tiempo de entrega de todos los ítems registrados por proveedor (días)	Desviación estándar.
2000084	118	48
2000796	79	37
2000173	194	23
2000646	120	76
2000870	122	67

Paras por desabasto: Para determinar el tiempo de parada de una línea mientras espera un repuesto se verificó mediante Gemba, se tomó el reporte de paras imprevistas de las líneas de producción en Excel hasta noviembre del 2019 como se evidencia en las figuras 2.2 y 2.3 y se comparó con los registros de producción manuales de producción por línea y el reporte de supervisión de producción como se detalla en la figura 2.4.



Figura 2.2 E-mail de coordinación de bodega de los reportes de paras por repuestos

LINEA	AREA	CATEGORIA	FECHA	TIEMPO (M)	TIEMPO (H)	CAUSAL	CAUS	OBSERVACION
LINEA 4	BODEGA.REPUESC	STOCK DE REF	2/1/2019	55	0,92			Daño cilindro neumático de ensacadora Tolva 6 (no hay repuesto en bodega)
LINEA 2	MANTENIMIENTO	DAÑOS ELECT	13/4/2019	100	1,67			Falta de motor en válvula rotativa
LINEA 4	MANTENIMIENTO	DAÑOS MECA	20/5/2019	165	2,75			E131 Para por problemas de porta matriz. No hay porte matriz en stock. Hilos no permiten que lo
LINEA 3	BODEGA.REPUESC	STOCK DE REF	22/5/2019	120	2,00			Falta de stock. Para por retiro de pernos rotos en matriz por problema de anillón.
LINEA 3	BODEGA.REPUESC	STOCK DE REF	23/5/2019	105	1,75			Falta de stock. Para por retiro de pernos rotos en matriz por problema de anillón.
LINEA 3	BODEGA.REPUESC	PROCESO PEL	24/5/2019	105	1,75			Falta de stock. Para por retiro de pernos rotos en matriz por problema de anillón.
LINEA 3	BODEGA.REPUESC	PROCESO PEL	25/5/2019	120	2,00			Falta de stock. Para por retiro de pernos rotos en matriz por problema de anillón.
LINEA 4	PRODUCCION	PROCESO EXT	8/7/2019	90	1,50	Habilidad	Falta ins	Se para e96 por falta de criba 0.5 en el molino. Se debió ir a buscar a b. repuestos.
LINEA 3	MANTENIMIENTO	DAÑOS MECA	15/7/2019	210	3,50	Ensacadora		Daño en ensacadora, se tuvo que cambiar el cilindro. No hay en stock, se pone uno provisional.

Figura 2.3 Detalle de las Paras Imprevistas

Registro de Operador de Línea

Reporte del supervisor de producción

Figura 2.4 Confiabilidad de la información del registro de paras

Los datos del reporte de mantenimiento de paras imprevistas son confiables, puesto que coinciden con los registros manuales del operador de línea y el reporte del supervisor de producción.

2.2.2. Mapeo de Procesos

Para conocer el funcionamiento de la bodega, se realizaron los levantamientos de los procesos involucrados en el reabastecimiento de la bodega, como la revisión de inventario que se puede ver en detalle en la figura 2.5, compras en la figura 2.6 y recepción en la figura 2.7.

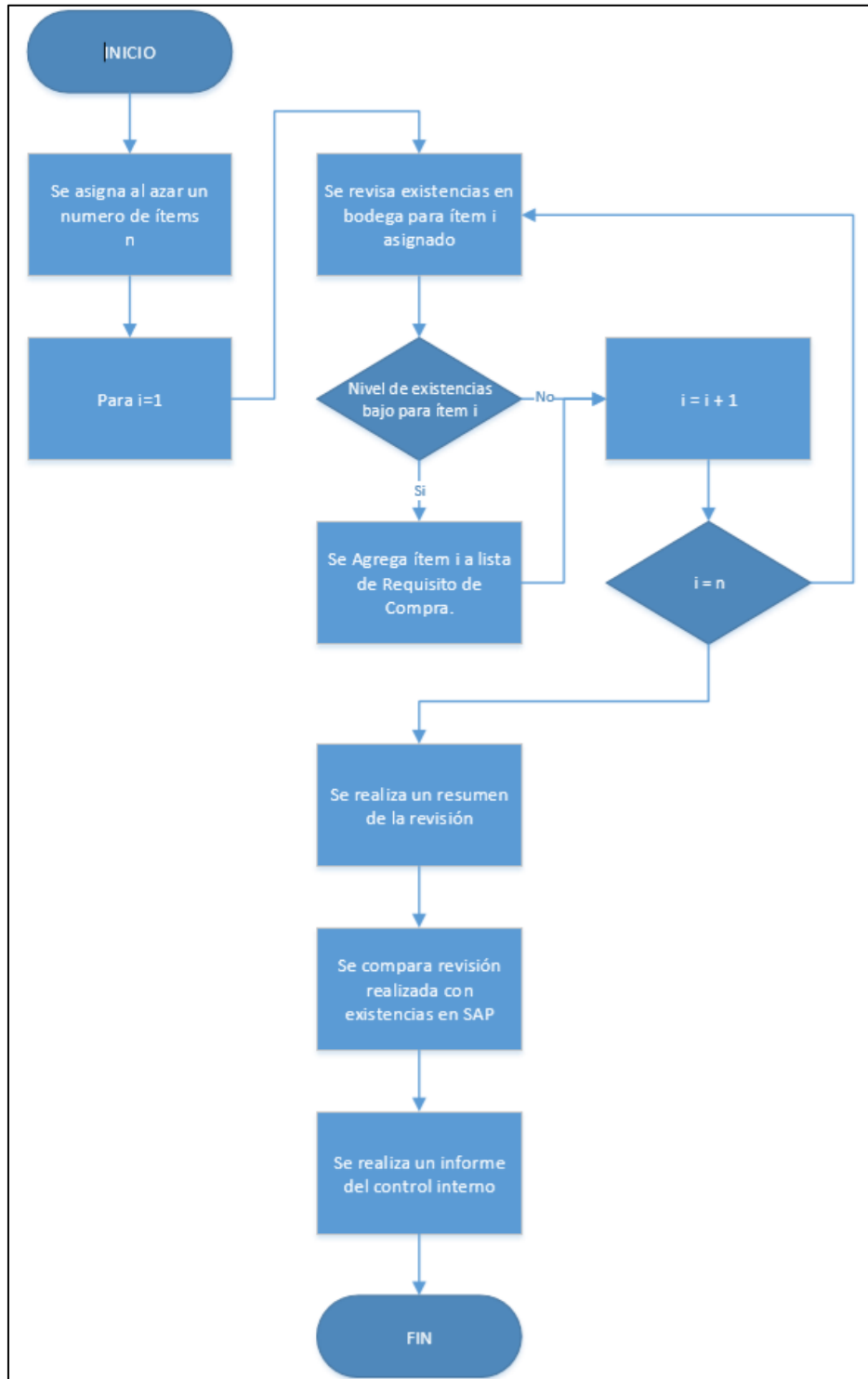


Figura 2.5 Diagrama de flujo del proceso de revisión de inventario

Hallazgos en el proceso de Revisión

Se observó que el número de actividades que agregan valor en el proceso de revisión son 1 de 6 (16,67%) y las que no agregan valor, pero son necesarias son 5 de 6 (83,33%).

Fábricas ocultas: Todo el proceso, dado que no existe información levantada. Además, Gerencia genera una lista de los elementos para la revisión de inventario.

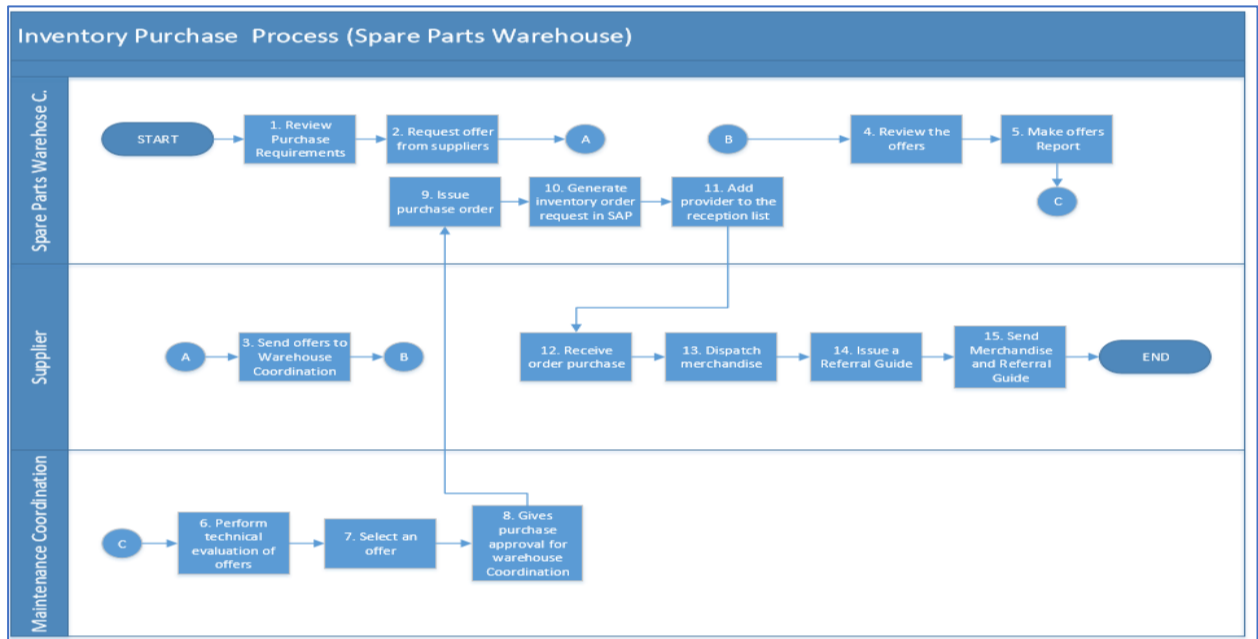


Figura 2.6 Diagrama de flujo del Proceso de Compras

Hallazgos en el proceso de compras

Se observó que el número de actividades que agregan valor en el proceso de revisión son 4 de 15 (26,67%) y las que no agregan valor, pero son necesarias son 11 de 15 (73,33%).

Fábricas ocultas: En la actividad para obtener ofertas de los proveedores, estos generalmente suelen evitarse y se compra al primero proveedor disponible cuando el artículo es urgente y crítico.

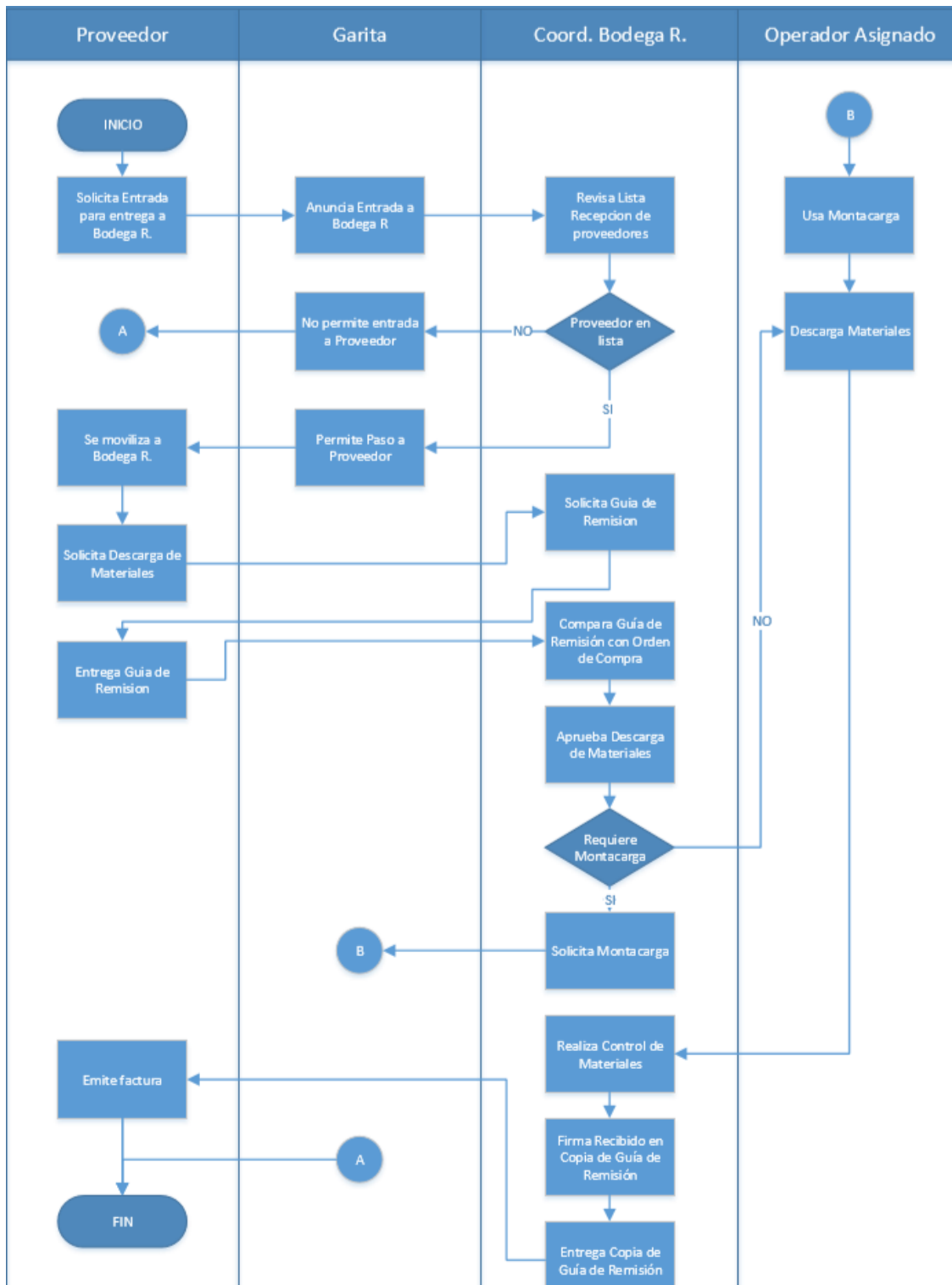


Figura 2.7 Diagrama de flujo del proceso de Recepción de Materiales

Hallazgos en el proceso de recepción

Se observó que el número de actividades que agregan valor en el proceso de revisión son 1 de 15 (6,67%), las que no agregan valor, pero son necesarias son 13 de 17 (86,67%) y las que no agregan valor es 1 (6,65%).

Fábricas ocultas: En la actividad de descarga, el producto suele esperar antes de ser almacenado y en el control, este es registrado en alguna hoja, antes de ser subido al sistema.

2.2.3. Estratificación de datos

El sistema SAP de la bodega ha registrado 3043 SKU's hasta el mes de septiembre, fecha en que se obtuvo la data. Fueron elegidos para la estratificación 2072 debido a que han sido los que han tenido movimientos en el último año.

El primer criterio de estratificación usado fue por proveniencia clasificando los artículos en aquellos que son comprados localmente e importados.

Se obtuvo que los artículos importados representan el 70% del consumo monetario de la bodega como se puede visualizar en la figura 2.8.

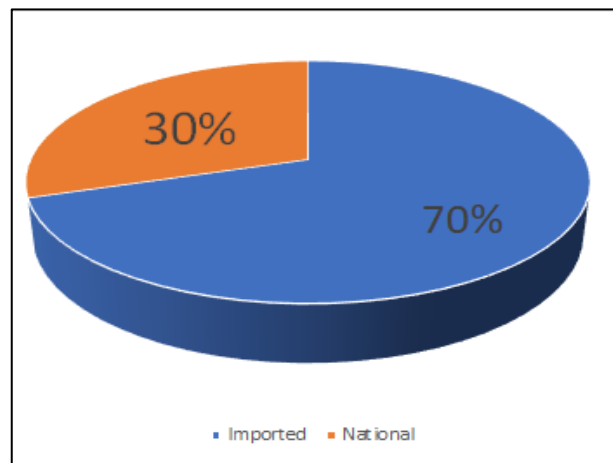


Figura 2.8 Gráfica Pastel del Costo de Ítems Importados vs Locales

El segundo criterio de estratificación fue un ABC por proveedores donde se determinó que 259 artículos pertenecientes a 3 de los 11 proveedores tienen el 80% del consumo de la bodega como se detalla en la figura 2.9.

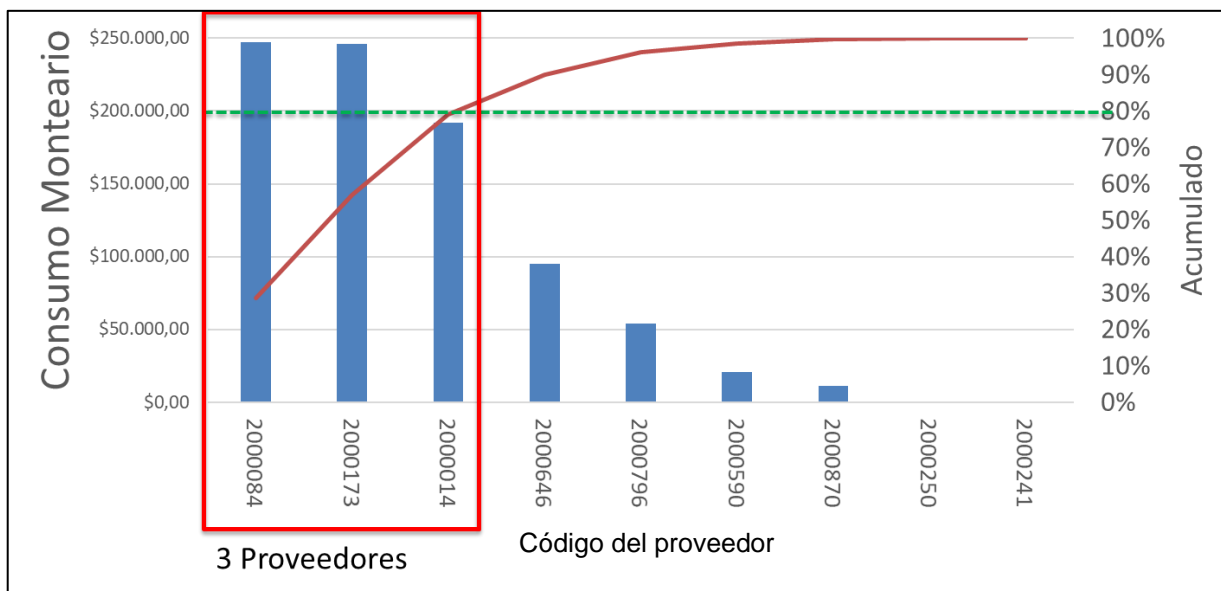


Figura 2.9 Gráfica de barras de consumo monetario por proveedores.

Para el siguiente criterio de estratificación se usó una clasificación por criticidad de Vitales, Esenciales y Deseables.

Vitales: Aquellos repuestos que su desabasto causa paros en la línea de producción y no puede ser conseguido de manera local o reparado.

Esenciales: Aquellos repuestos que su desabasto causan para en la línea de producción, pero estas pueden ser reparadas o compradas con un mayor esfuerzo de manera local (Comprarlas a industrias con maquinaria similar).

Deseables: Aquellas que pueden ser reparadas o compradas localmente con poco esfuerzo.

Los resultados de esta estratificación se pueden ver en la figura 2.10, donde se obtuvo que 128 son clasificadas como vitales, 59 como esenciales y 72 como deseables.

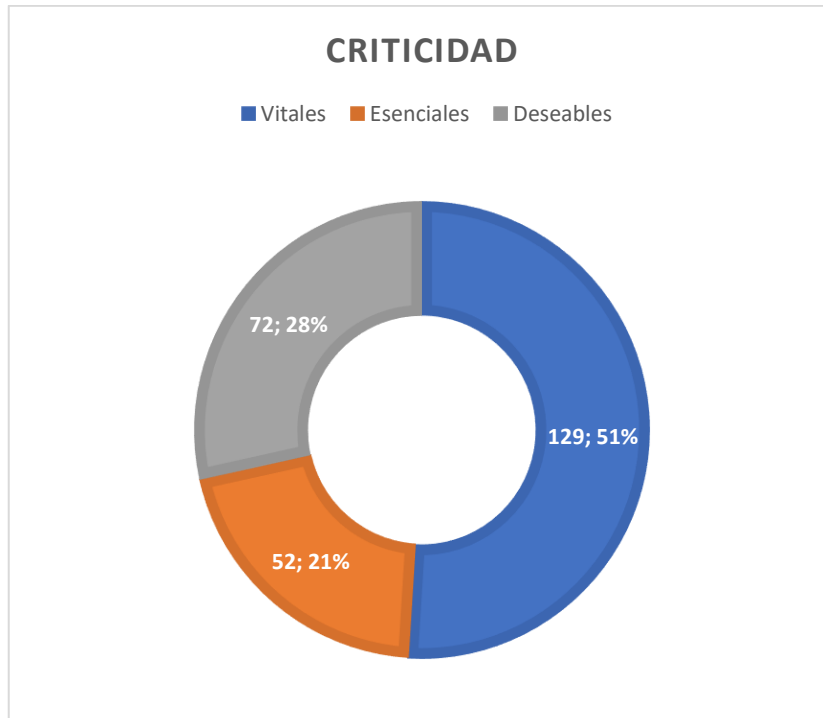


Figura 2.10 Gráfica de anillo de Clasificación de Ítems por criticidad

Para el último criterio de estratificación se utilizó una clasificación según el tipo de parte como se visualiza en la figura 2.11, este criterio está definido según su planificación estos son aquellos que cuentan con un plan de mantenimiento preventivo y aquellos que están alejados de la programación y ocurren de manera aleatoria están clasificados como emergentes. (Hopp & Spearman, 2011)

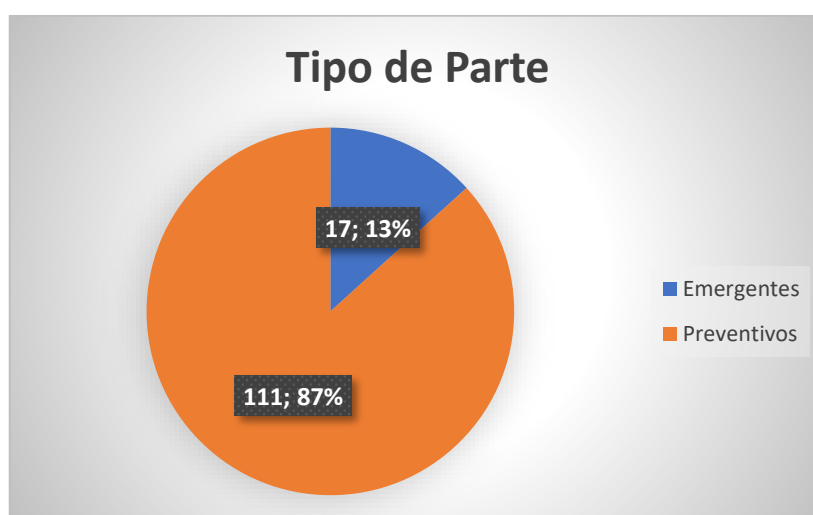


Figura 2.11 Gráfica de pastel de clasificación de Ítems por tipo de parte

Finalmente, resultaron que 17 artículos de 128 son identificados como emergentes, siendo los de mayor impacto para la variable de respuesta, como se define en la figura 2.12.

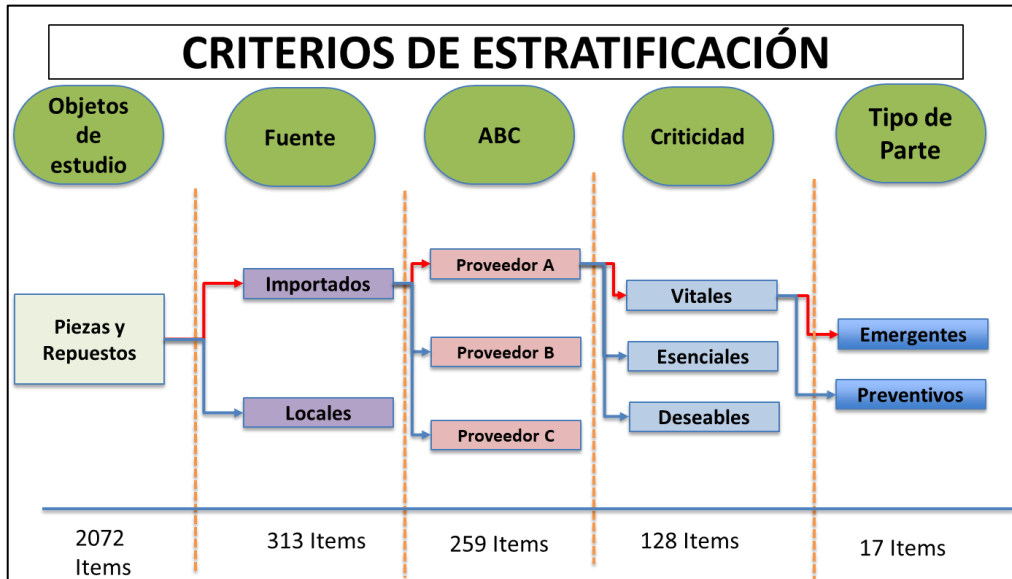


Figura 2.12 Resumen de estratificación de los ítems de bodega

2.2.4. Problema Enfocado

Se definieron 3 problemas enfocados eligiendo a los proveedores como los puntos principales de estudio como se observa en la figura 2.13.

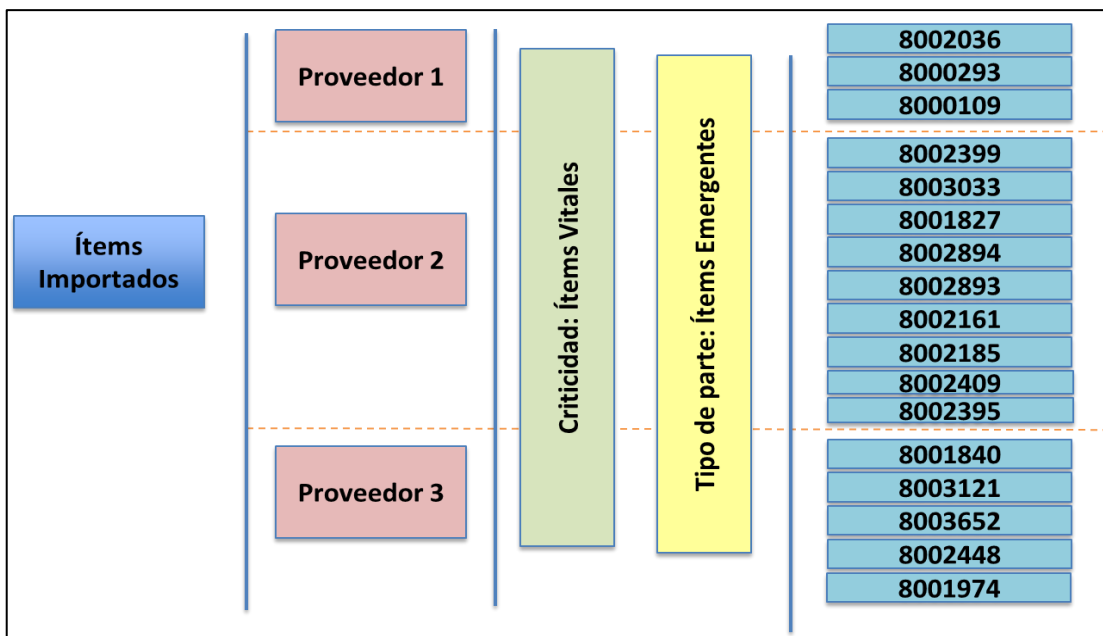


Figura 2.13 Detalle de los ítems estratificados

1° Problema Enfocado: El costo mensual de la gestión de las piezas emergentes del proveedor 1 ha sido en promedio de \$1.911,65 de enero del año 2019 a septiembre del año 2019.

2° Problema Enfocado: El costo mensual de la gestión de las piezas emergentes del proveedor 2 ha sido en promedio de \$8.379,18 de enero del año 2019 a septiembre del año 2019.

3° Problema Enfocado: El costo mensual de la gestión de las piezas emergentes del proveedor 3 ha sido en promedio de \$3.227,96 de enero del año 2019 a septiembre del año 2019.

2.3. Análisis

Una vez definido el problema enfocado, se avanzó hacia la siguiente etapa de la metodología, donde se identificaron las causas que podrían afectar a la variable de respuesta la cual es el alto costo de la gestión de inventario.

2.3.1. Lluvia de Ideas

Con la finalidad de poder enlistar el mayor número de causas, se reunió a un equipo de personas las cuales han presenciado las fallas de la bodega como se evidencia en la figura 2.14; utilizando la herramienta Diagrama Causa- Efecto o Diagrama de Ishikawa, fueron identificadas al menos 21 causas relacionadas al problema que se detallan en las figuras 2.15, 2.16 y 2.17.



Figura 2.14 Equipo de la bodega identificando causas mediante el uso de la herramienta Ishikawa

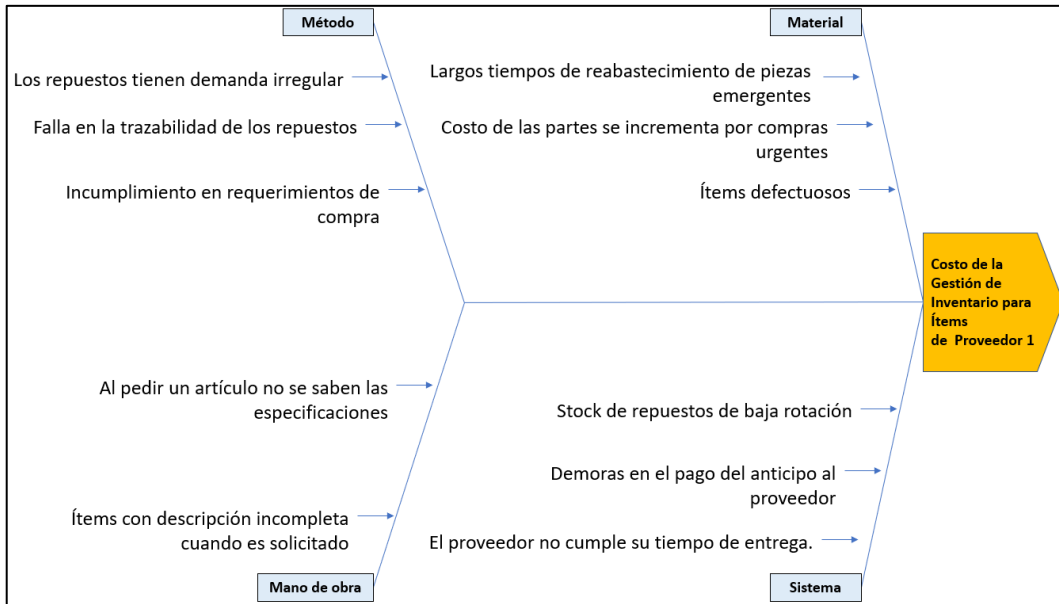


Figura 2.15 Diagrama Ishikawa para problema enfocado 1

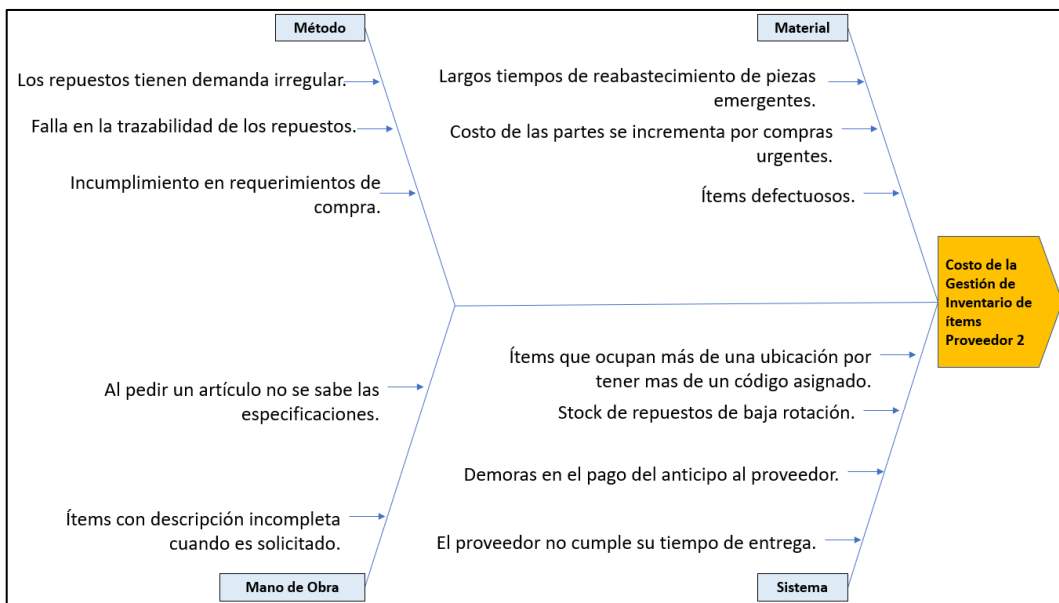


Figura 2.16 Diagrama Ishikawa para problema enfocado 2

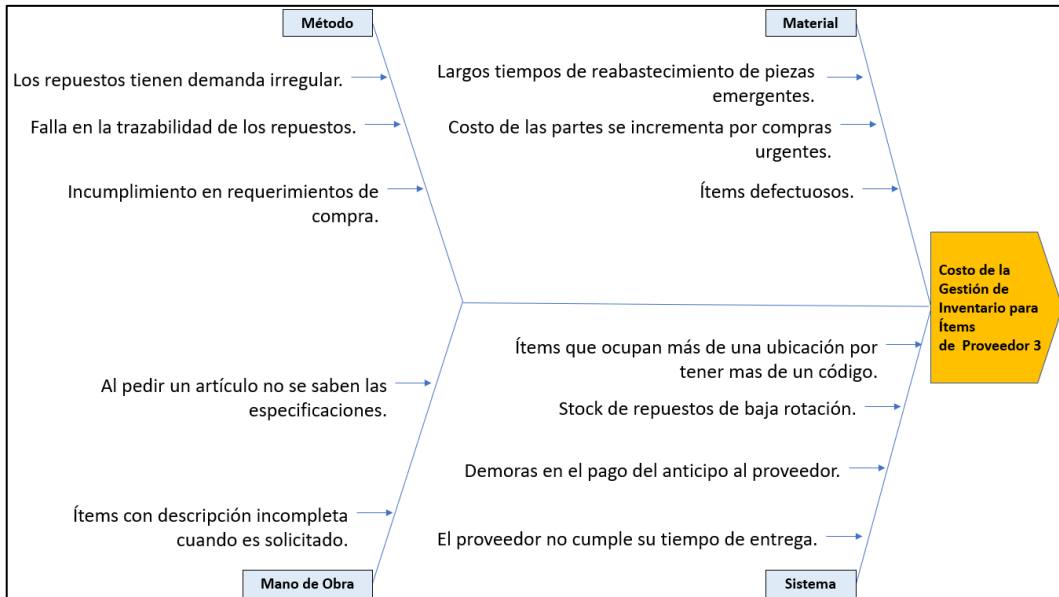


Figura 2.17 Diagrama Ishikawa para problema enfocado 3

2.3.2. Ponderación de Causas

Una vez enlistadas las causas, con la ayuda de los miembros de la bodega se calificó cada una de estas por el impacto y control que demanda cada una en la variable de respuesta, obteniendo los siguientes resultados de la figura 2.18, 2.19 y 2.20 para cada uno de los proveedores.

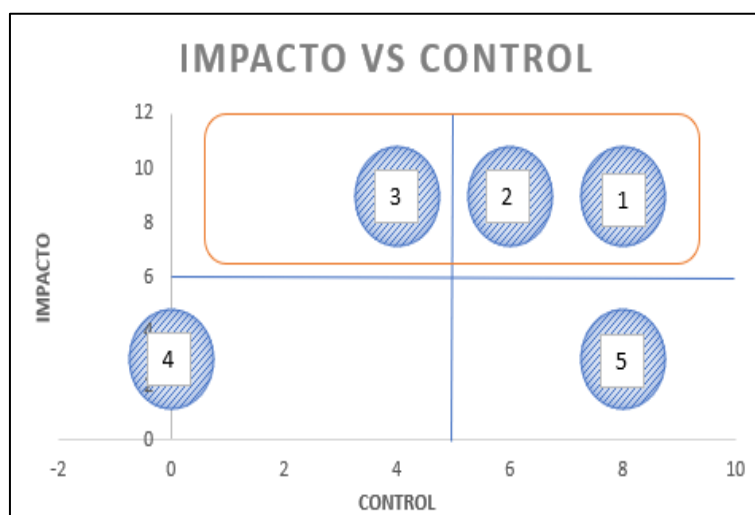


Figura 2.18 Matriz Impacto-Control de Proveedor 1

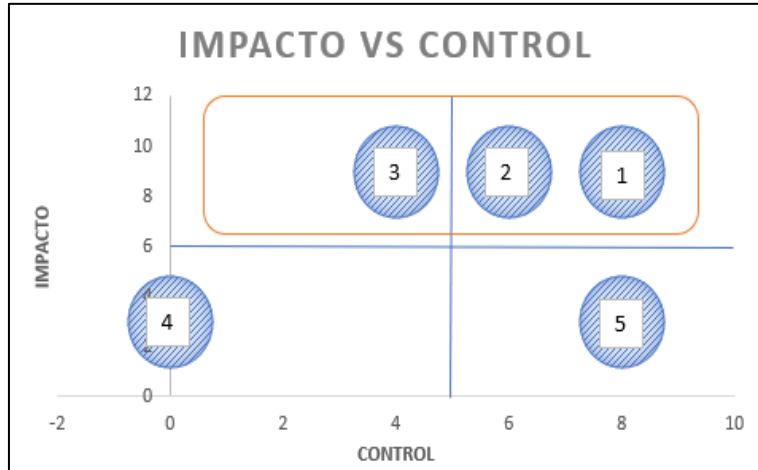


Figura 2.19 Matriz Impacto-Control de Proveedor 2

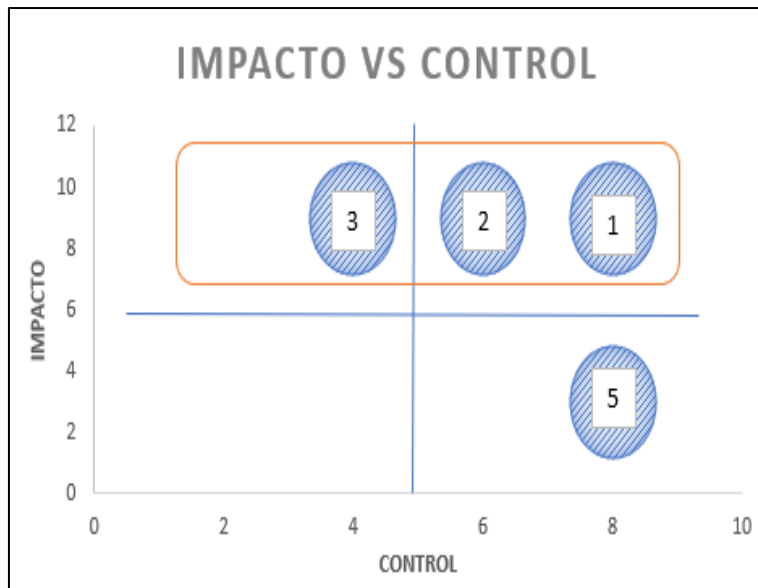


Figura 2.20 Matriz Impacto-Control de Proveedor 3

2.3.3. Plan de verificación de causas

En esta etapa del proyecto se procesó la data y se evaluó para validad cada una de las posibles causas potenciales como de detallan en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Plan de verificación de causas

X's	Causa	Teoría	¿Como verificar?	Estado
1	Largos tiempos de reabastecimiento de piezas emergentes.	Los largos tiempos de reabastecimiento incrementan el inventario de seguridad lo cual aumenta el costo de mantener.	Regresión Lineal Teoría de inventarios	COMPLETA
2	Los repuestos tienen demanda irregular	El comportamiento irregular de la demanda está relacionada a errores significativos en los pronósticos, esto incrementa el requerimiento del inventario de seguridad causando un alto costo de mantener inventario.	Análisis de regularidad de inventario Teoría de inventarios	COMPLETA
3	El valor de las piezas aumenta por compras urgentes	Compras urgentes incrementan el costo de transporte de un material lo que se ve reflejado en el costo del material	Estadística: Diferencia de medias de artículos vía aérea y vía marítima	COMPLETA

2.3.4. Verificación de Causas

Causa 1: Largos tiempos de reabastecimiento de piezas emergentes

Teoría: Los largos tiempos de reabastecimiento incrementan el inventario de seguridad lo cual aumenta el costo de mantener.

¿Como Verificar?

Herramientas estadísticas: Regresión Lineal, Teoría de inventarios

El costo de mantener está dado, por la fórmula $Costo\ de\ mantener = H * I_p$

El inventario promedio puede estar dado en $\left(\frac{Q}{2} + Inventario\ de\ seguridad\ (SS)\right)$

y el $SS = k * \delta_L$ donde $\delta_L = \delta_D \sqrt{L}$ entonces, si L aumenta, el costo de mantener aumenta, para verificar esto se aplica una regresión lineal donde se calculó el inventario promedio y los tiempos de reabastecimientos de los 17 artículos como se evidencia en las tablas 2.10, 2.11 y 2.12.

Tabla 2.10 Tiempos de entrega para proveedor 1

Mejor Caso								
Código	Pedido de repuesto	Solicitud de oferta	Aprobación de jefatura	Pago de anticipo	Ex Works	Transporte	Aduana	Acumulado
8002036	0	1 día	1 día	2 días	0 días	20 días	3 días	27 días
8000714	0	1 día	1 día	2 días	0 días	20 días	3 días	27 días
8002328	0	1 día	1 día	2 días	48 días	20 días	3 días	75 días
Peor Caso								
Código	Pedido de repuesto	Solicitud de oferta	Aprobación de jefatura	Compra	Ex Works	Transporte	Aduana	Acumulado
8002036	0	1 día	1 día	4 días	42 días	20 días	3 días	71 días
8000714	0	1 día	1 día	4 días	42 días	20 días	3 días	71 días
8002328	0	1 día	1 día	4 días	133 días	20 días	3 días	162 días

Tabla 2.11 Tiempos de entrega para proveedor 2

Mejor Caso								
Código	Pedido de repuesto	Solicitud de oferta	Aprobación de jefatura	Pago de anticipo	Ex Works	Transporte	Aduana	Acumulado
8003033	0	1 día	1 día	2 días	26 días	35 días	3 días	68 días
8001827	0	1 día	1 día	2 días	10 días	35 días	3 días	52 días
8002894	0	1 día	1 día	2 días	46 días	35 días	3 días	88 días
8002893	0	1 día	1 día	2 días	46 días	35 días	3 días	88 días
8002997	0	1 día	1 día	2 días	46 días	35 días	3 días	88 días
8002998	0	1 día	1 día	2 días	46 días	35 días	3 días	88 días
8002163	0	1 día	1 día	2 días	46 días	35 días	3 días	88 días
Peor Caso								
Código	Pedido de repuesto	Solicitud de oferta	Aprobación de jefatura	Compra	Ex Works	Transporte	Aduana	Acumulado
8003033	0	1 día	1 día	4 días	50 días	35 días	3 días	94 días
8001827	0	1 día	1 día	4 días	30 días	35 días	3 días	71 días
8002894	0	1 día	1 día	4 días	60 días	35 días	3 días	104 días
8002893	0	1 día	1 día	4 días	60 días	35 días	3 días	104 días
8002997	0	1 día	1 día	4 días	60 días	35 días	3 días	104 días
8002998	0	1 día	1 día	4 días	60 días	35 días	3 días	104 días
8002163	0	1 día	1 día	4 días	60 días	35 días	3 días	104 días

Tabla 2.12 Tiempos de entrega para proveedor 3

Mejor Caso								
Código	Pedido de repuesto	Solicitud de oferta	Aprobación de jefatura	Pago de anticipo	Ex Works	Transporte	Aduana	Acumulado
8002448	0	1 día	1día	2 días	20 días	27 días	3 días	54 días
8004108	0	1 día	1día	2 días	5 días	27 días	3 días	39 días
8003652	0	1 día	1día	2 días	20 días	27 días	3 días	54 días
8002191	0	1 día	1día	2 días	5 días	27 días	3 días	39 días
8002442	0	1 día	1día	2 días	5 días	27 días	3 días	39 días
8003650	0	1 día	1día	2 días	5 días	27 días	3 días	39 días
8003510	0	1 día	1día	2 días	20 días	27 días	3 días	54 días
Peor Caso								
Código	Pedido de repuesto	Solicitud de oferta	Aprobación de jefatura	Pago de anticipo	Ex Works	Transporte	Aduana	Acumulado
8002448	0	1 día	1día	4 días	20 días	27 días	3 días	81 días
8004108	0	1 día	1día	4 días	7 días	27 días	3 días	43 días
8003652	0	1 día	1día	4 días	30 días	27 días	3 días	68 días
8002191	0	1 día	1día	4 días	7 días	27 días	3 días	43 días
8002442	0	1 día	1día	4 días	7 días	27 días	3 días	43 días
8003650	0	1 día	1día	4 días	7 días	27 días	3 días	43 días
8003510	0	1 día	1día	4 días	30 días	27 días	3 días	68 días

Prueba estadística

Ho: $B1=0$; no existe relación entre el nivel de inventario y los tiempos de reabastecimiento.

H1: $B1 \neq 0$; existe una relación entre el nivel de inventario y los tiempos de reabastecimiento.

Valor $\alpha = 0.05$

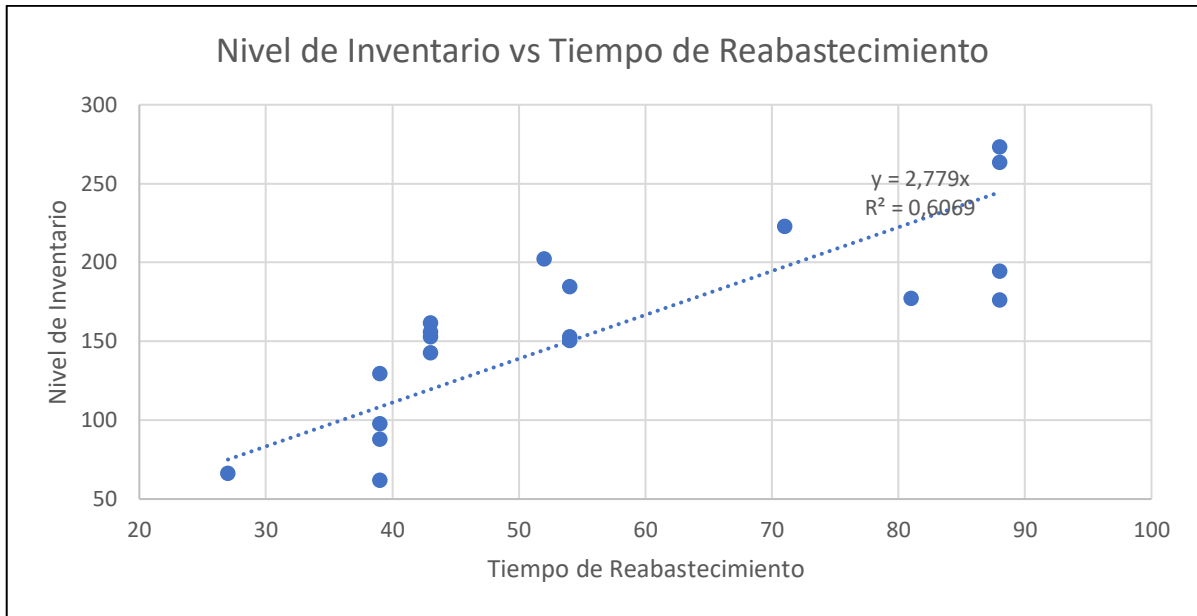


Figura 2.21 Regresión Lineal Nivel de Inventario - Tiempos de entrega

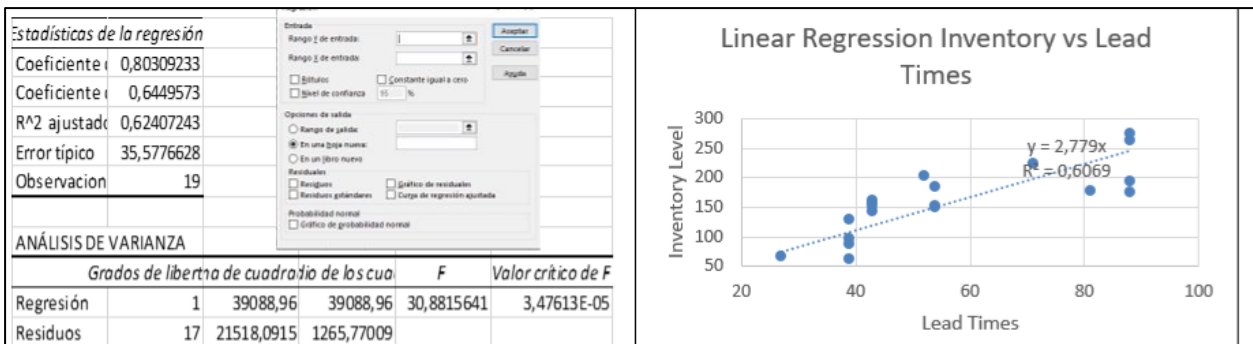


Figura 2.22 Resumen de datos de Regresión Lineal y ANOVA

Finalmente, con un 95% de nivel de confianza y un valor $F < 0.05$ no se rechaza H_0 , es decir, existe una relación entre los tiempos de reabastecimiento y el nivel de inventario, gracias a los resultados que se pueden ver en la figura 2.21 y 2.22. El Costo de Mantener por Inventario de Seguridad para artículos vitales y emergentes en el último año ha sido de \$27.013,36.

Causa 2: El valor de los artículos aumenta por compas urgentes

Teoría: Las compras urgentes requieren ser enviadas por transporte aéreo lo cual es más costoso que el transporte marino.

¿Cómo verificar?: Comparación entre costo de transporte marino y transporte aéreo.

Existe constancia de facturas para el transporte de órdenes de compra que han sido traídos por vía aérea y vía marítima.

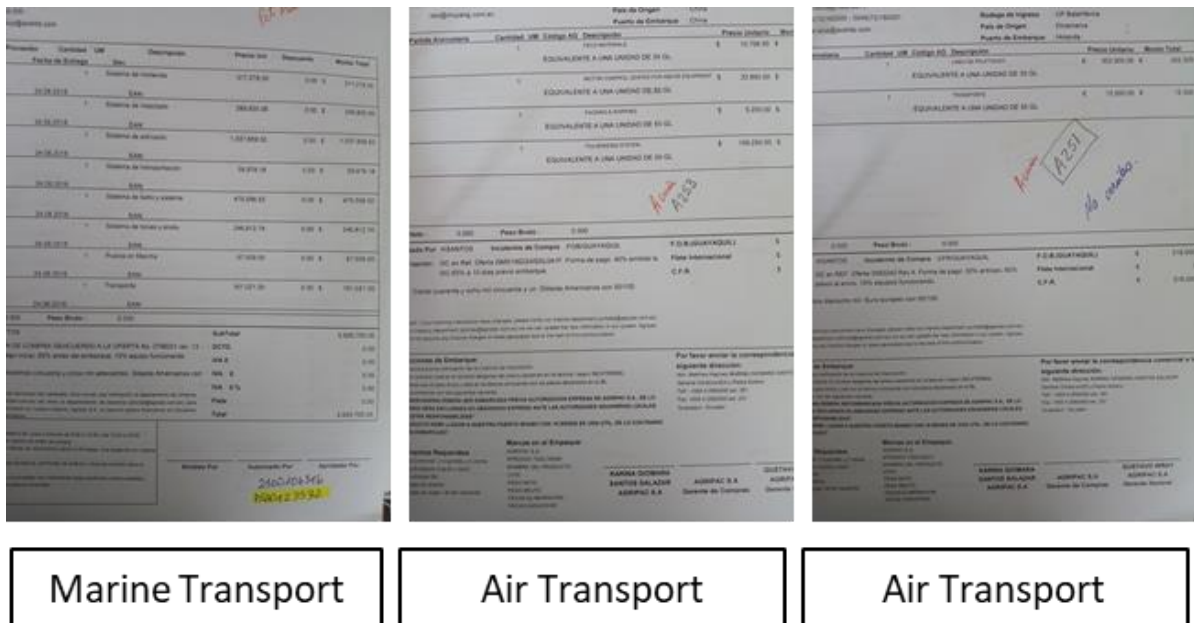


Figura 2.23 Documentos de ocurrencia de transportes emergentes

De esta se observó que al menos 8 de estas han sido enviadas por vía aérea de las cuales solo 7 artículos de los 17 constan en estas órdenes, en la figura 2.23 se muestra de pedidos emergentes.

Utilizando una calculadora de flete web se calculó el costo de transporte dependiendo del peso del artículo, para el transporte marítimo se usó un referencial de lo que costaría traer un contenedor de 29.000Kgs (29Tons) y para el transporte marítimo se usó como referencia un paquete de hasta 100kgs; así se determinó los valores para cada proveedor como se muestra en la tabla 2. 13.

Tabla 2.13 Diferencia de costos por transporte marítimo y aéreo por localización

Proveedor	Localización	Costo de contenedor (29Tons) Transporte marítimo	Costo de paquete (100kg) Transporte aéreo
Proveedor 1	Holanda	\$ 2.784 por contenedor (\$ 0,096 / Kg)	\$ 1.000 por paquete \$ 10,00 / Kg
Proveedor 2	China	\$ 1.711 por contenedor (\$ 0,059 / Kg)	\$ 1.140 por paquete \$11,40 / Kg
Proveedor 3	Brasil	\$ 1827 por contenedor (\$ 0,063 / Kg)	\$1.115 por paquete \$11,15 / Kg

El peso de los artículos fue adquirido de la hoja de características de cada una de las piezas. Los costos unitarios para vía marítima y vía aérea de los ítems a estudiar se pueden ver en la tabla 2.14.

Tabla 2.14 Diferencia de costos por transporte marítimo y aéreo por ítem

	Valor Unitario	Peso Unidad (kg)	Costo por Kg (Aéreo)	Costo por Kg (Marítimo)	Costo Transporte Marítimo (por unidad)	Costo Transporte Aéreo (por unidad)	COSTO INCREMENTAL
8002036	2944,5	30	10	0,1	3	300,00	297,00
8000293	658,92	3	10	0,1	0,3	30,00	29,70
8000109	588,83	25	10	0,1	2,5	250,00	247,50
8002399	501,73	2,04	11,4	0,06	0,1224	23,26	23,13
8003033	339,16	2,04	11,4	0,06	0,1224	23,26	23,13
8001827	5,42	0,2	11,4	0,06	0,012	2,28	2,27
8002894	38,56	1,21	11,4	0,06	0,0726	13,79	13,72
8002893	38,17	1,14	11,4	0,06	0,0684	13,00	12,93
8002161	800,16	11,2	11,4	0,06	0,672	127,68	127,01
8002185	705,05	31	11,4	0,06	1,86	353,40	351,54
8002409	1919,28	16,8	11,4	0,06	1,008	191,52	190,51
8002395	1513,79	12	11,4	0,06	0,72	136,80	136,08
8001840	146,13	1,52	11,15	0,07	0,1064	16,95	16,84
8003121	311,04	2,47	11,15	0,07	0,1729	27,54	27,37
8003652	1638,09	26	11,15	0,07	1,82	289,90	288,08
8002448	115,51	0,2	11,15	0,07	0,014	2,23	2,22
8001974	694,58	1,18	11,15	0,07	0,0826	13,16	13,07

Prueba estadística:

Ho: $\mu_1 = \mu_2$; el costo del transporte aéreo y marítimo es el mismo.

H1: $\mu_1 \neq \mu_2$; el costo del transporte aéreo y marítimo es diferente.

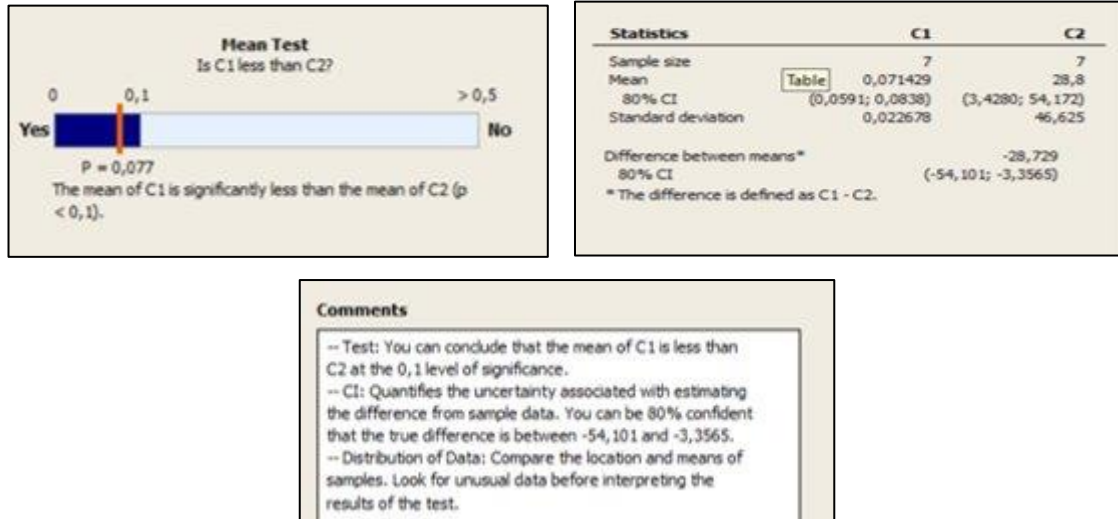


Figura 2.24 Prueba de diferencia de medias para causa 2

Conclusión: Con un 90% de nivel de confianza y un valor p obtenido de 0,077; se rechaza Ho, es decir, el transporte marítimo es más barato que el transporte aéreo, como se evidencia en la figura 2.24.

Causa 3: Demanda irregular de piezas y repuestos

Teoría: El comportamiento irregular de la demanda está relacionada a errores significativos en los pronósticos, esto incrementa el requerimiento del inventario de seguridad causando un alto costo de mantener inventario.

¿Cómo verificar? Análisis de regularidad de inventario, Teoría de inventarios.

El inventario de seguridad está dado por $SS = k * \delta_L$ donde δ_L es la desviación de la demanda o el MSE de un pronóstico.

Se analizó el consumo de los 17 artículos y se determinó mediante la distancia entre ellos y su coeficiente de variación su tipo de demanda, como se visualiza en la tabla 2.15.

Tabla 2.15 Coeficientes CV2 y ADI por ítem

Material	ADI	CV ²	Tipo de demanda
8002036	23,13	0	Intermitente
8000293	32	0,75	Grumosa
8000109	10,59	0	Intermitente
8002399	18	0	Grumosa
8003033	19,9	1,04	Grumosa
8001827	8,52	0,89	Grumosa
8002894	15,72	0,81	Grumosa
8002993	13	0,74	Grumosa
8002161	7,52	1,74	Grumosa
8002185	8,33	0,24	Intermitente
8002409	20,4	0,5	Grumosa
8002395	25,25	0,29	Intermitente
8001840	24,71	0,77	Grumosa
8003121	23,28	0	Intermitente
8003652	92,5	0	Intermitente
8002448	5,11	0,98	Grumosa
8001974	40,8	0,57	Grumosa

De los cuales se escogen los artículos 8003033, 8002448 y 8002191 para su análisis, donde se observa su comportamiento en el tiempo mediante la figura 2.25, 2.26 y 2.27; así mismo los cálculos de los errores se observan en las tablas 2.16 y 2.17.

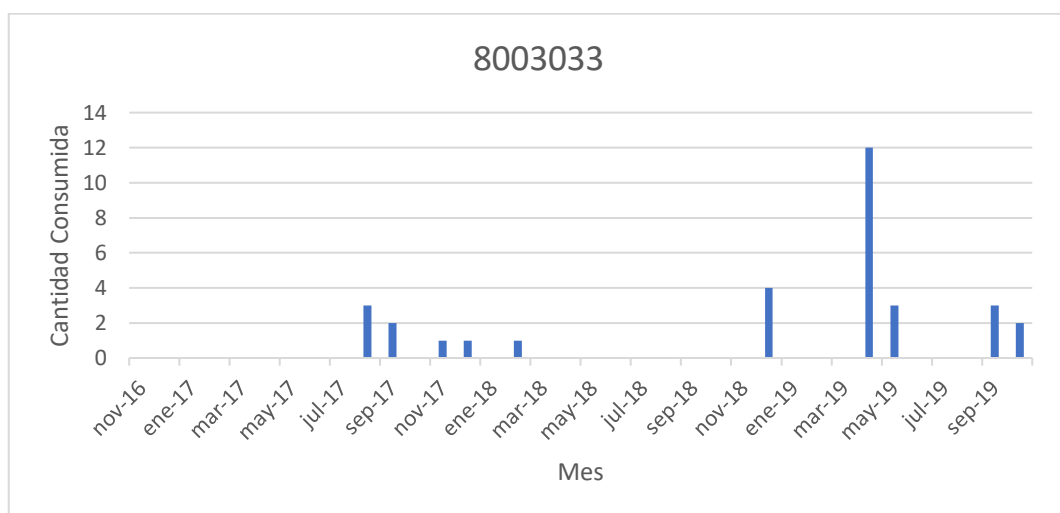


Figura 2.25 Gráfica de demanda semanal desde el año 2016 al año 2019 del Ítem 8003033

Tabla 2.16 Cálculo de MSE para ítem 8003033

8003033			
Fechas	Consumo	Syntetos Boylan	Error
oct-19	2	0,909745561	1,09025444
sep-19	3	0,870743392	2,12925661
ago-19	0	0,917774385	0,91777438
jul-19	0	0,917774385	0,91777438
jun-19	0	0,917774385	0,91777438
may-19	3	0,917774385	2,08222562
abr-19	12	0,844705386	11,1552946
mar-19	0	0,53855065	0,53855065
feb-19	0	0,53855065	0,53855065
ene-19	0	0,53855065	0,53855065
dic-18	4	0,53855065	3,46144935
nov-18	0	0,661022359	0,66102236
MSE	12,5261893	Tracking Signal	19,6083486
MAD	0,75929307	Desviación	0,170143

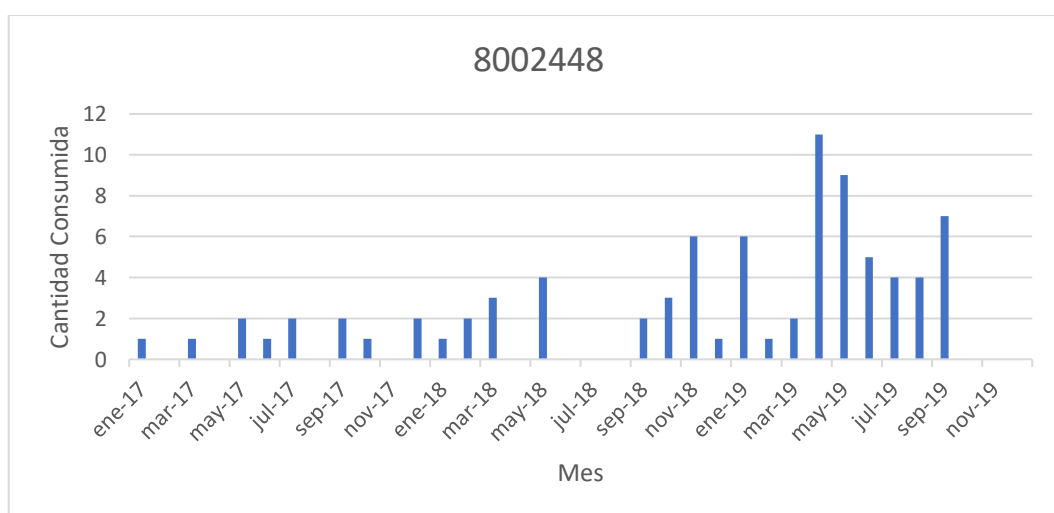


Figura 2.26 Gráfica de demanda semanal desde el año 2016 al año 2019 del ítem 8002448

Tabla 2.17 Cálculo de MSE para ítem 8002448

8002448			
Fechas	Consumo	Syntetos Boylan	Error
dic-19	0	3,811399772	3,81139977
nov-19	0	3,811399772	3,81139977
oct-19	0	3,811399772	3,81139977
sep-19	7	3,811399772	3,18860023
ago-19	4	3,472162218	0,52783778
jul-19	4	3,483408338	0,51659166
jun-19	5	3,49614442	1,50385558
may-19	9	3,383707228	5,61629277
abr-19	11	2,764314227	8,23568577
mar-19	2	1,837192338	0,16280766
feb-19	1	1,855840453	0,85584045
ene-19	6	1,987233941	4,01276606
MSE	14,3987552	Tracking Signal	3,66930215
MAD	3,12713352	Desviación	0,76550637

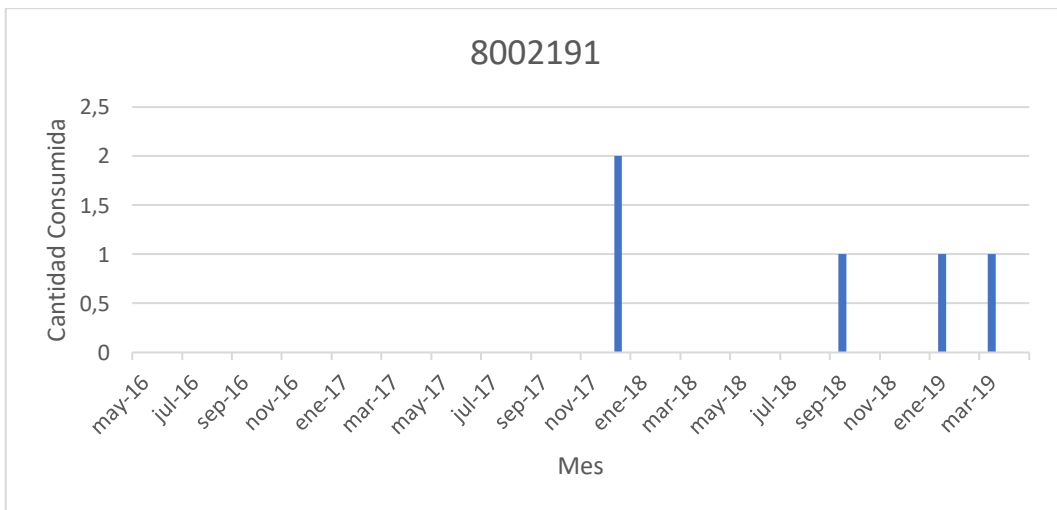


Figura 2.27 Gráfica de demanda semanal desde el año 2016 al año 2019 del ítem 8002191

Tabla 2.18 Cálculo de MSE para ítem 8002191

8002191			
Fechas	Consumo	Syntetos Boylan	Error
abr-19	0	0,128249219	0,12824922
mar-19	1	0,128249219	0,87175078
feb-19	0	0,116840387	0,11684039
ene-19	1	0,116840387	0,88315961
dic-18	0	0,110151074	0,11015107
nov-18	0	0,110151074	0,11015107
oct-18	0	0,110151074	0,11015107
sep-18	1	0,110151074	0,88984893
ago-18	0	0,112575942	0,11257594
jul-18	0	0,112575942	0,11257594
jun-18	0	0,112575942	0,11257594
may-18	0	0,112575942	0,11257594
MSE	0,20407868	Tracking Signal	14,0664193
MAD	0,11509061	Desviación	0,00629359

Se realiza la prueba estadística para su verificación, como se puede observar en las figuras 2,28 y la tabla 2.19.

Prueba estadística

Ho: $B1=0$; no existe relación entre el nivel de inventario y los tiempos de reabastecimiento.

H1: $B1 \neq 0$; existe una relación entre el nivel de inventario y los tiempos de reabastecimiento.

Valor $\alpha = 0.05$

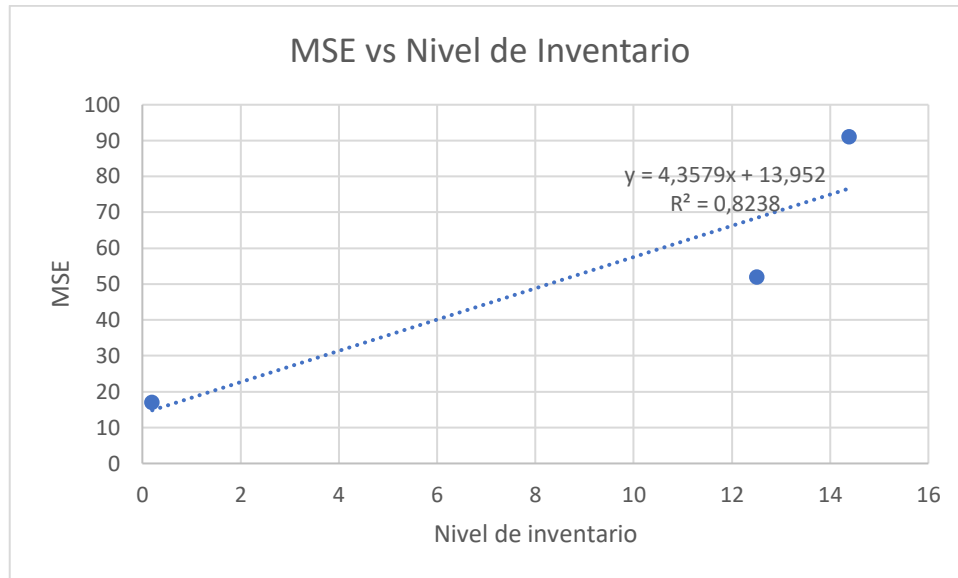


Figura 2.28 Regresión lineal de MSE y nivel de inventario

Tabla 2.19 Resultados de Regresión Lineal realizada en Excel

<i>Estadísticas de la regresión</i>					
Coefficiente de correlación múltiple	0,96905774				
Coefficiente de determinación R ²	0,9390729				
R ² ajustado	0,8781458				
Error típico	12,9221079				
Observaciones	3				
ANÁLISIS DE VARIANZA					
	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	2573,68579	2573,68579	15,4130574	0,14878058
Residuos	1	166,980874	166,980874		
Total	2	2740,66667			

Conclusión: Con un nivel de confianza del 90% y un valor $f < 0.15$ no se rechaza H_0 , por lo que existe una relación entre el error de pronóstico y el nivel de inventario. Por lo que el error del pronóstico aumenta el costo de mantener.

2.3.5. Causas Raíces

Una vez verificadas las causas potenciales, se utilizó la herramienta 5 ¿por qué? para entender la ocurrencia de estas e identificar las causas raíces asociadas a estas, en la tabla 2.20 se puede apreciar los resultados para la causa 1, en la tabla 2.21 los resultados para la causa 2 y finalmente para la causa 3 en la tabla 2.23.

Tabla 2.20 Análisis 5 ¿Por qué? para causa 1

Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis	Ronda 3	Hipótesis	Ronda 4	Hipótesis	Ronda 5
¿Por qué es largo el tiempo de reabastecimiento de partes emergentes?	SI	¿Por qué hay atrasos en poner la solicitud de pedido hasta completar las especificaciones del requerimiento?	SI	¿La descripción del ítem en el sistema no es clara?	SI			
Atrasos en poner la solicitud de pedido hasta completar las especificaciones del requerimiento.		La descripción del ítem en el sistema no es clara.		La descripción de las piezas en el sistema no es igual a la usada por el proveedor.				
El tiempo de liberar las solicitudes de pedido es variable.		¿Por qué el tiempo de liberar las solicitudes de pedido es variable?	SI	¿Por qué se liberan las solicitudes de pedido según sistema FIFO?	SI			
	Las solicitudes de órdenes o pedidos se liberan según sistema FIFO.	El proceso de compras no prioriza la liberación de órdenes de piezas críticas.						
El tiempo de respuesta del proveedor es alto.	SI	¿Por qué el tiempo de respuesta del proveedor es alto?	SI	¿Por qué los repuestos son fabricados bajo pedido o conseguidos por el proveedor en otras extensiones?	SI	¿Por qué no hay el ítem en bodega?	SI	
		Los repuestos son fabricados bajo pedido o son conseguidos por el proveedor en otras extensiones.		No hay el ítem en bodega.		No hay un stock mínimo, máximo o punto de reorden de los repuestos.		
						El conteo físico del inventario no es realizado formalmente.		
				El repuesto no cumple con las especificaciones al ser requerido o instalados.	SI	¿Por qué el repuesto no cumple con las especificaciones al ser requerido o instalados?	SI	¿Por qué no se revisaron sus especificaciones a detalle?
						Cuando llegó el repuesto no se revisaron sus especificaciones a detalle.		Baja disponibilidad del personal para inspeccionar la mercadería que llega.
Los repuestos no se piden con anticipación.	SI	¿Por qué los repuestos no se piden con anticipación?	SI	¿Por qué han aumentado los mantenimientos correctivos?	SI	¿Por qué los daños en las piezas son difíciles de predecir?		
		Aumento de mantenimientos correctivos.		Los daños en las piezas son difíciles de predecir.		Los tiempos de duración para una misma pieza de repuesta del mismo proveedor son variables.		

Tabla 2.21 Análisis 5 ¿Por qué? para causa 2

Ronda 1	Hipótesis	Ronda 2	Hipótesis	Ronda 3	Hipótesis
¿ Por qué el costo de las partes se incrementa durante las compras urgentes?	SI	¿ Por qué es necesario importarlo via aérea.	SI	¿ Por qué los repuestos no hay en bodega?	SI
Es necesario importarlo via aérea.		Los repuestos no hay en bodega.		El conteo físico del inventario no es realizado formalmente.	
				No hay un stock mínimo, máximo o punto de reorden de los repuestos.	

Tabla 2.22 Análisis 5 ¿Por qué? para causa 3

Ronda 1	Hipótesis
¿ Por qué las piezas emergentes tienen un patrón de demanda irregular?	SI
Son repuesto pedidos con poca frecuencia.	

En la figura 2.29 se presenta el resumen de las causas raíces para cada causa potencial.

CAUSA POTENCIAL	CAUSA RAÍZ
1. Largos tiempos de entregas en el reabastecimiento de piezas emergentes.	<ul style="list-style-type: none"> - El proceso de compras no prioriza la liberación de ordenes de piezas críticas. - No existe Stock máximo, stock mínimo o punto de reorden. - El conteo físico de inventario no es realizado formalmente. - Baja disponibilidad del personal de la bodega para inspeccionar la mercadería que llega. - Los tiempos de duración para una misma pieza de repuesto del mismo proveedor son variables. - La descripción de las piezas en el sistema no es igual a la usada por el proveedor.
2. El valor de las piezas se incrementa por compras urgentes.	<ul style="list-style-type: none"> - El conteo físico de inventario no es realizado formalmente. - No existe Stock máximo, stock mínimo o punto de reorden.
3. Las piezas emergentes tiene un patrón de demanda irregular.	<ul style="list-style-type: none"> - Los requerimientos de piezas de repuestos son esporádicos.

Figura 2.29 Cuadro de Causas raíces asociadas a una causa potencial.

2.4. Mejora

Una vez identificadas las causas raíces asociadas al problema que incrementan el costo de la gestión de inventario, se avanzó a la siguiente fase del proyecto, la cual implica buscar soluciones utilizando herramientas, técnicas y teorías de ingeniería para darles solución o aminorar su impacto.

2.4.1. Lluvia de ideas de soluciones

Con el equipo del proyecto, se elaboró una reunión para hablar de las posibles soluciones, donde surgieron las propuestas que se detallan en la figura 2.30.



Figura 2.30 Lista de soluciones generadas a partir de una lluvia de ideas

2.4.2. Selección de soluciones

Una vez listada las soluciones, estas fueron asignadas a cada una de las causas raíces para conocer el alcance de cada una de estas.

Cada solución fue evaluada utilizando la herramienta Impacto-Esfuerzo para asegurar las soluciones de más alto impacto y de menor costo.

Causa Raíz 1: El proceso de compra no prioriza la liberación de órdenes de ítems críticos.

Soluciones Propuestas: Actualizar la descripción de los ítems importados (Solución 1); elaborar un catálogo unificado con la descripción de los ítems críticos importados por proveedor (Solución 2) y rediseñar el proceso de compras (Solución 3).

Causa Raíz 2: No existe Stock máximo, Stock mínimo o punto de reorden.

Soluciones Propuestas: Definición de políticas de reabastecimiento (Solución 4).

Causa Raíz 3: El conteo físico de inventario no es realizado formalmente.

Soluciones Propuestas: Elaboración de un plan de toma física de inventario (Solución 5).

Causa Raíz 4: Baja disponibilidad del personal de la bodega para inspeccionar la mercadería que llega.

Soluciones Propuestas: Rediseño del proceso de recepción de ítems importados y funciones del personal (Solución 6) y contratar personal para realizar actividades de recepción.

Causa Raíz 5: Los tiempos de duración para una mismo ítem de un mismo proveedor son variables.

Soluciones Propuestas: Elaborar un sistema de selección de proveedor por evaluación (Solución 8).

Causa Raíz 6: Los requerimientos de ítems son esporádicos.

Soluciones Propuestas: Elaborar un plan de Mantenimiento Total Productivo (Solución 9) y Definición de políticas de reabastecimiento (Solución 4).

Para establecer el impacto de cada una de las soluciones se estableció asignar un número según el número de causas raíces que ataca obteniendo los resultados de la tabla 2.23.

Para conocer el esfuerzo de la implementación de las soluciones se realizó un estudio para cada una de ellas según el costo que tendría aplicarlas y su horizonte de tiempo para desarrollarlas; donde según su horizonte de tiempo se asignan los pesos 1 para corto (Hasta 1 mes) 2 para Medio (Hasta 3 meses) y 3 para Largo (Hasta 1 año) y en el Costo Mensual Asociado 1 (menos de \$200); 2 (\$200 – \$400); 3 (\$400 – \$600); 4 (\$600 – \$800) y 5 (más de \$800) como se puede apreciar en la tabla 2.24.

Tabla 2.23 Análisis de impacto para soluciones propuestas

#	Solución Propuesta	Causa raíz que impacta	Impacto
1	Actualizar la descripción de los ítems importados	1	1
2	Elaborar un catálogo unificado con la descripción de los ítems críticos importados por proveedor	1	1
3	Rediseñar el proceso de compras	2	1
4	Definición de políticas de inventario	3, 7, 9	3
5	Elaboración de un plan de toma física de inventario	3, 4, 7, 8	4
6	Rediseño del proceso de recepción de ítems importados y funciones del personal	5	1
7	Contratar personal para mejorar la distribución de actividades	3, 5	2
8	Elaborar un sistema de selección de proveedores por evaluación	6	1
9	Elaborar un plan para Mantenimiento Total Productivo	6,9	2

Tabla 2.24 Análisis de Esfuerzo para soluciones propuestas

#	Soluciones Propuestas	Horizonte de tiempo	Costo Mensual Asociado	Esfuerzo
1	Actualizar la descripción de los ítems importados	Corto (1)	\$133,00 (1)	1
2	Elaborar un catálogo unificado con la descripción de los ítems críticos importados por proveedor	Medio (2)	\$133,00 (1)	1
3	Rediseñar el proceso de compras	Corto (1)	\$133,00 (1)	1
4	Definición de políticas de inventario	Corto (1)	\$133,00 (1)	1
5	Elaboración de un plan de toma física de inventario	Corto (1)	\$133,00 (1)	1
6	Rediseño del proceso de recepción de ítems importados y funciones del personal	Corto (1)	\$133,00 (1)	1
7	Contratar personal para mejorar la distribución de actividades	Corto (1)	\$400,00 (3)	3
8	Elaborar un sistema de selección de proveedores por evaluación	Medio (2)	\$133,00 (1)	2
9	Elaborar un plan para Mantenimiento Total Productivo	Largo (3)	\$ 1.000,00 (5)	15

Para finalizar con el análisis de las soluciones en la figura 2.31, usando los criterios anteriores se elabora una matriz Impacto vs Esfuerzo, donde las soluciones a implementarse fueron Definición de Políticas de Inventario y un Plan de toma física de inventario.

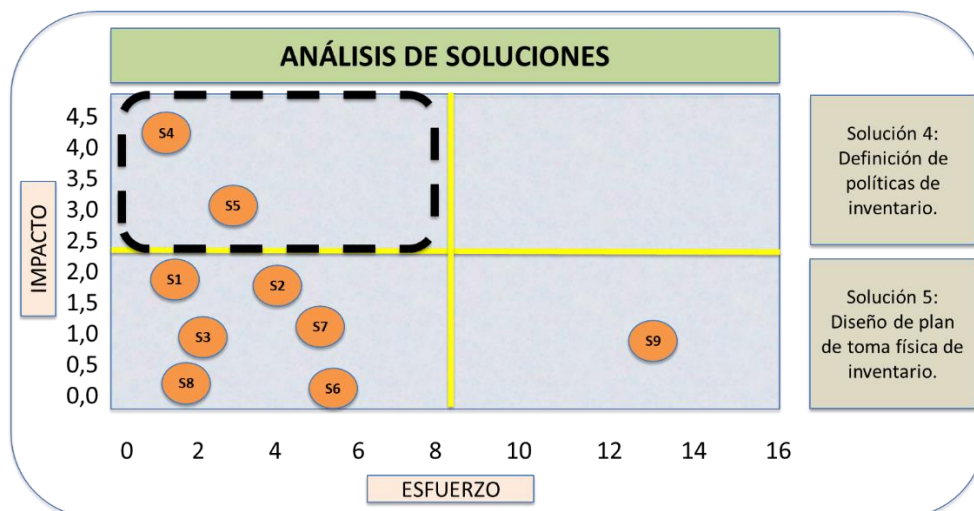


Figura 2.31 Lista de soluciones generadas a partir de una lluvia de ideas

Donde se escogieron las soluciones: Definición de políticas de inventario y diseño de plan de toma física de Inventario por su alto impacto y bajo esfuerzo para el desarrollo del proyecto.

2.4.3. Plan de Implementación de Soluciones

Ya seleccionadas las soluciones se elaboró un plan de implementación para conocer el desarrollo que tendrán estas soluciones, de qué manera impactaran al problema definido y su programa para las actividades que conllevan a realizarlo.

Para la solución 4: Definición de políticas de inventario, se muestra el detalle en la tabla 2.25.

Tabla 2.25 Plan de implementación de solución 4

Plan de Implementación: Solución 4									
No.	¿Qué?	Causa Raíz	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Costo?	¿Cuándo?	Estado
4	Definición de políticas de Inventario.	No existe stock máximo, stock mínimo o punto de reorden definido. Los ítems presentan una demanda esporádica.	Definir estos controles pueden mejorar la gestión de los ítems y disminuir los desabastos.	Utilizando herramientas de gestión de inventario para conocer la demanda y en base a estos utilizar modelos que se ajusten.	Bodega de piezas de repuestos de la fábrica.	Líderes del proyecto.	\$0,00	23/12/19 a 24/1/19	Listo.

En base al tiempo para desarrollar la solución, las actividades que se plantearon se detallan en la tabla 2.26.

Tabla 2.26 Cronograma de actividades de solución 4

Actividad	Día de Inicio	Día Finalización	Días requeridos
Categorización de la Demanda	23/12/2019	26/12/2019	3
Pronóstico de la demanda y medición de los errores	26/12/2019	31/12/2019	5
Selección de modelo de inventario	1/1/2020	7/1/2020	6
Definición de políticas de Inventario	8/1/2020	11/1/2020	3
Simulación de los modelos	12/1/2020	19/1/2020	7
Análisis de resultados	20/1/2020	24/1/2020	4
Días totales requeridos			28

Para la solución 5: Diseño de toma física del inventario el plan de implementación se detalla en la tabla 2.27.

Tabla 2.27 Plan de implementación de solución 5

Plan de Implementación: Solución 5								
N o.	¿Qué?	Causa Raíz	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuándo?	Estado
5	Diseño de plan para toma física de inventario.	El conteo físico del inventario no es llevado formalmente. Baja disponibilidad del personal de la bodega para realizar inspección en la recepción.	Tener control del inventario según su clasificación de importancia y aumentar la disponibilidad de la bodega.	Junto al coordinador de la bodega, definir un criterio de revisión y la frecuencia a realizar para cada una de las clasificaciones; evaluar la metodología y elaborar el plan de revisión para el periodo actual.	Bodega de piezas de repuestos de la fábrica.	Líderes del proyecto y Coordinador de la bodega.	02/01/20 a 10/01/20	Listo.

En base al tiempo para desarrollar la solución, las actividades que se plantearon para se muestran a detalle en la tabla 2.28.

Tabla 2.28 Cronograma de actividades de solución 5

Actividad	Día de Inicio	Día Finalización	Días requeridos
Recolección de información	2/1/2020	2/1/2020	1
Depuración de la información	3/1/2020	6/1/2020	3
Clasificación ABC de los ítems por consumo monetario	7/1/2020	7/1/2020	1
Reunión coordinada para definir la frecuencia y el tiempo para dedicar a la actividad.	8/1/2020	8/1/2020	1
Desarrollo y ejecución del plan para el conteo físico del inventario.	9/1/2020	9/1/2020	1

2.5. Implementación

Una vez teniendo en claro que soluciones se van a realizar y las fechas límites para cada una de las actividades, se procedió a realizar el desarrollo para cada una.

2.5.1. Diseño de políticas de Inventario

Se obtuvo la información con respecto al requerimiento para cada uno de los 17 ítems, esta fue considerada como la demanda.

Categorización de la Demanda: las series de demanda que presentan periodos con valores cero, consideradas demandas nulas, pueden ser caracterizadas en cuatro tipos según los grados de intermitencia y desempeño errático. Para esto son calculados dos indicadores; el coeficiente de variación cuadrática (CV^2) y el promedio del intervalo entre demandas (ADI), como se aprecia en la figura 2.32 (Ghobbar & Friend, 2002).

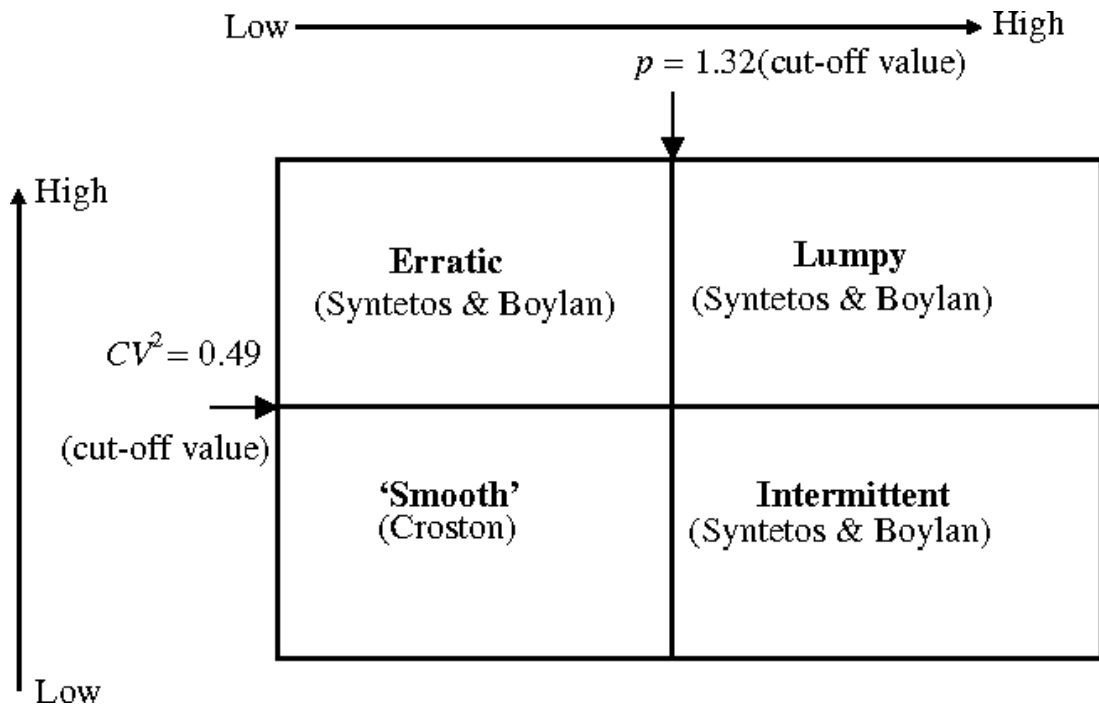


Figura 2.32 Matriz de tipos de demanda según sus coeficientes de variación y ADI

Se tomaron 4 años de datos de demanda para los 17 ítems y fueron analizados en periodos semanales, los resultados para estos se presentan:

Para el ítem 8002036 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.33, donde se obtuvo $CV^2 = 0$ $ADI = 23,13$; determinando un tipo de demanda Intermittente.

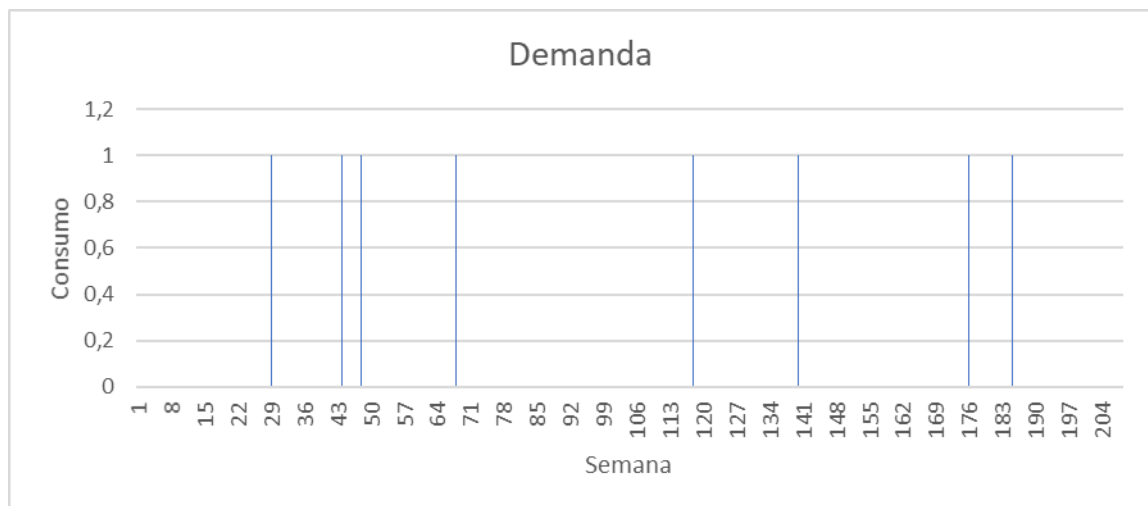


Figura 2.33 Consumo semanal del ítem 8002036

Para el ítem 8000293 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.34, donde se obtuvo $CV^2= 0,75$ $ADI=32$, determinando un tipo de demanda Grumosa.

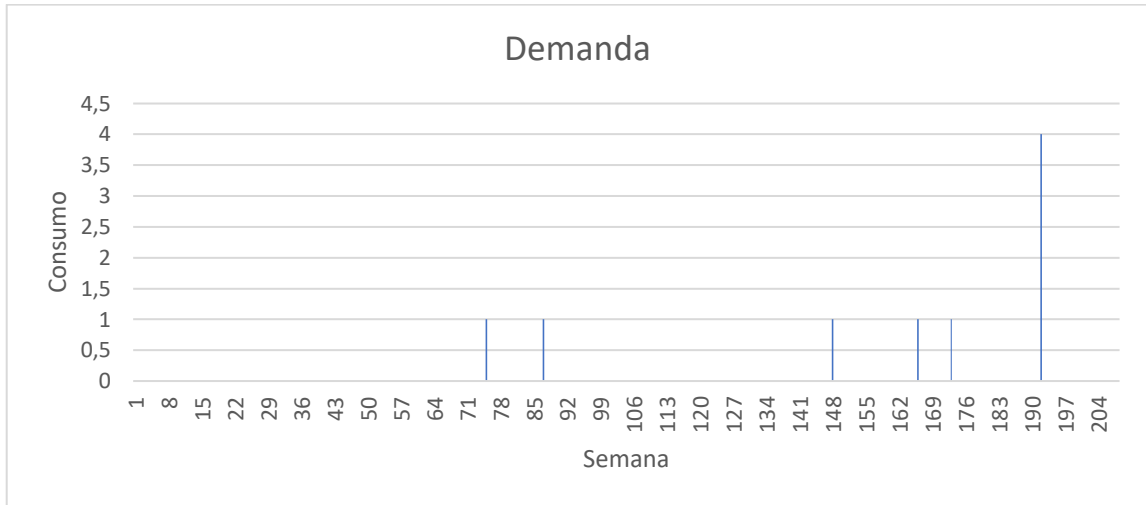


Figura 2.34 Consumo semanal del ítem 8000293

Para el ítem 8000109 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.35, donde se obtuvo $CV^2= 0$ $ADI=10,59$; determinando un tipo de demanda Intermitente.

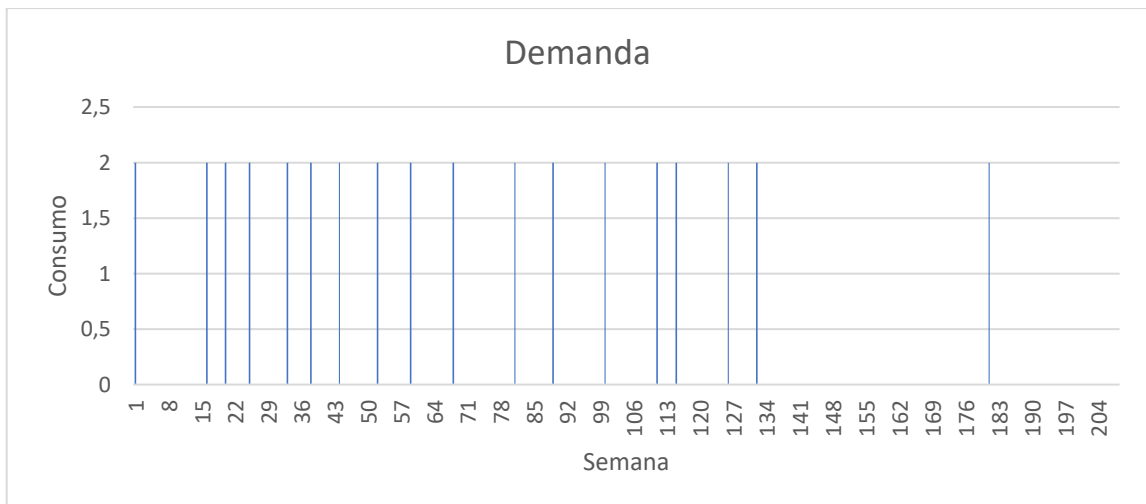


Figura 2.35 Consumo semanal del ítem 8000109

Para el ítem 8002399 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.36, donde se obtuvo $CV^2= 0$ $ADI=18$; determinando un tipo de demanda intermitente.

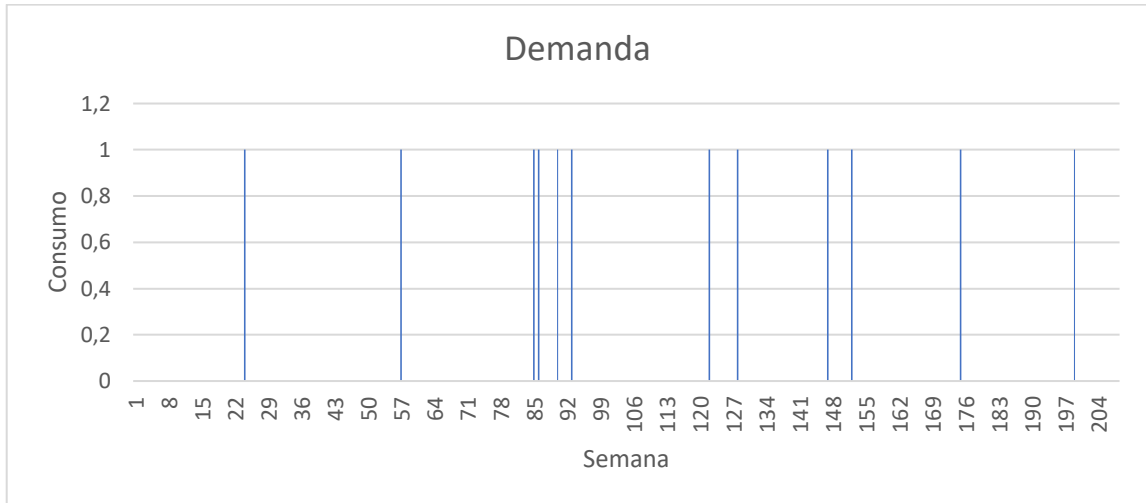


Figura 2.36 Consumo semanal del ítem 8002399

Para el ítem 8003033 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.37, donde se obtuvo $CV^2= 1,04$ $ADI=19,9$; determinando un tipo de demanda grumosa.

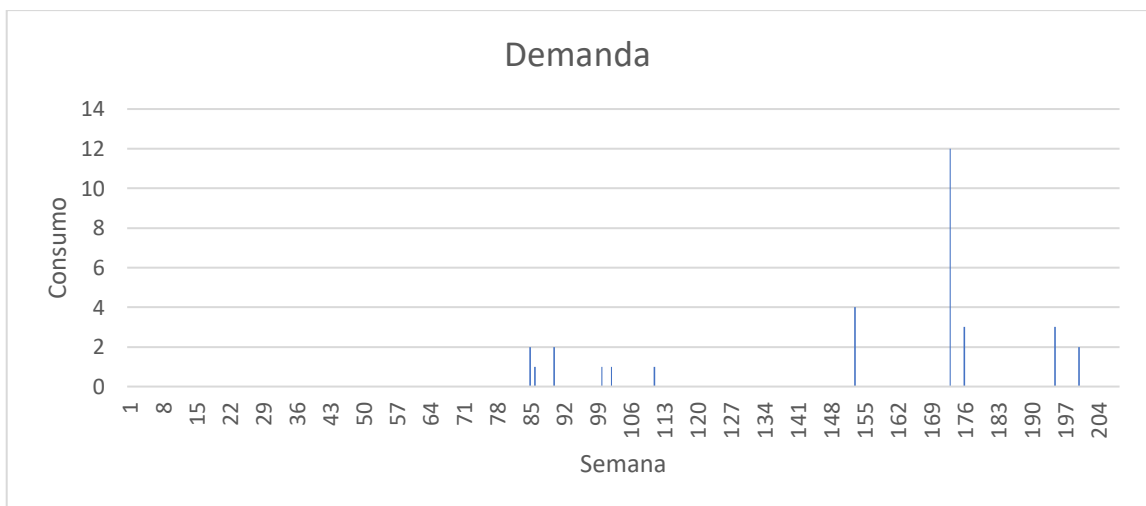


Figura 2.37 Consumo semanal del ítem 8003033

Para el ítem 8001827 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.38, donde se obtuvo $CV^2= 0,89$ y $ADI=8,52$; determinando un tipo de demanda grumosa.

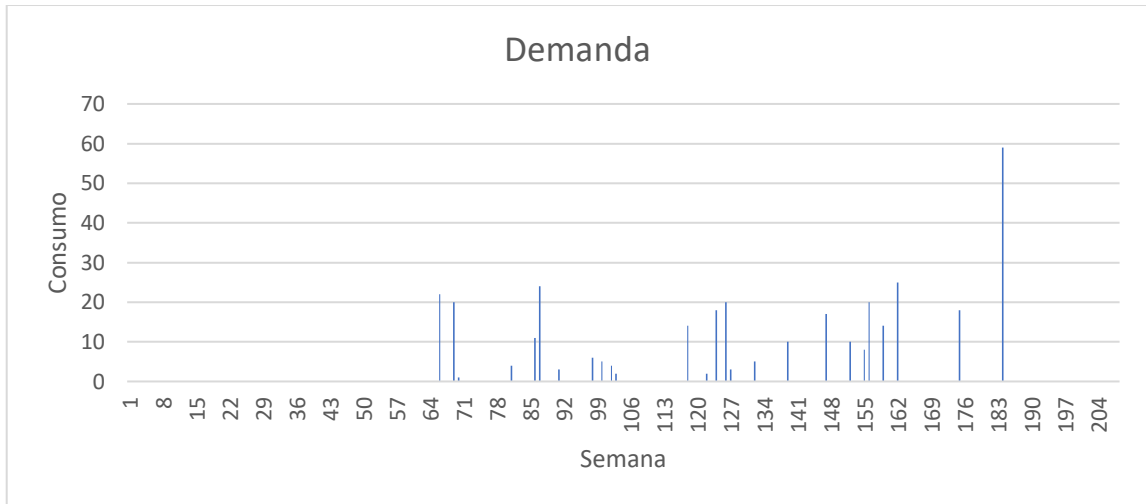


Figura 2.38 Consumo semanal del ítem 8001827

Para el ítem 8002894 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.39, donde se obtuvo $CV^2 = 0,81$ y $ADI = 15,72$; determinando un tipo de demanda grumosa.

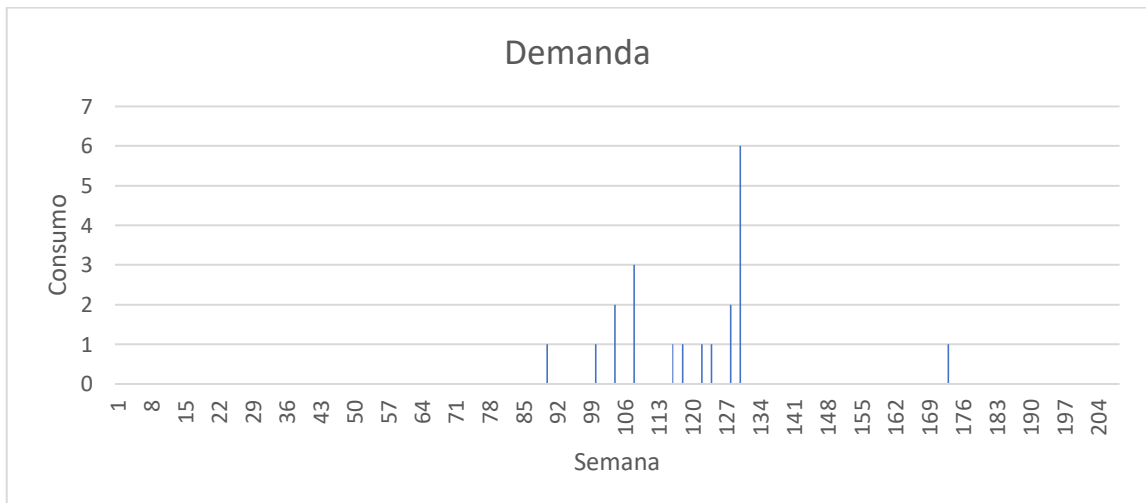


Figura 2.39 Consumo semanal del ítem 8002894

Para el ítem 8002893 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.40, donde se obtuvo $CV^2 = 0,74$ y $ADI = 13$; determinando un tipo de demanda grumosa.

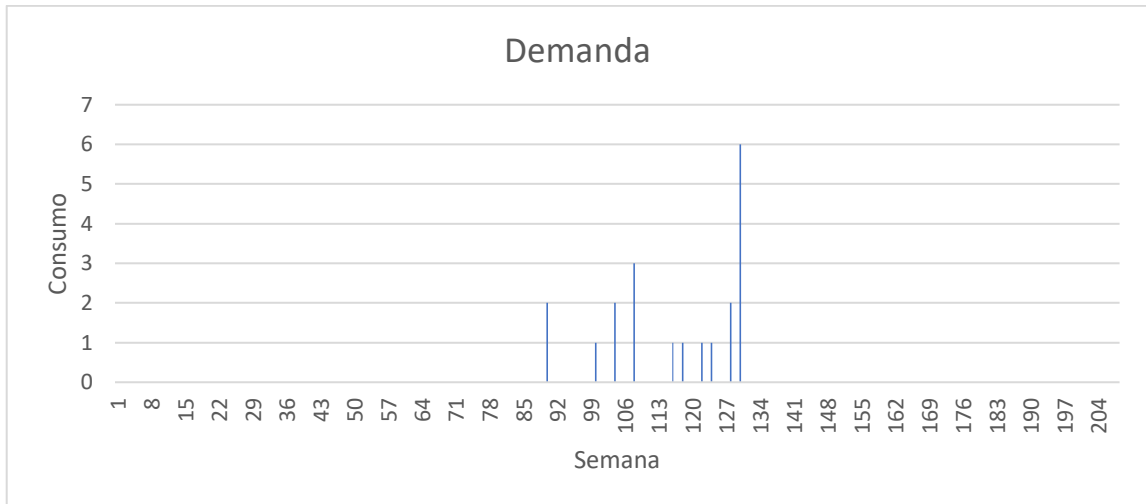


Figura 2.40 Consumo semanal del ítem 8002983

Para el ítem 8002161 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.41, donde se obtuvo $CV^2= 1,74$ y $ADI=7,52$; determinando un tipo de demanda grumosa.

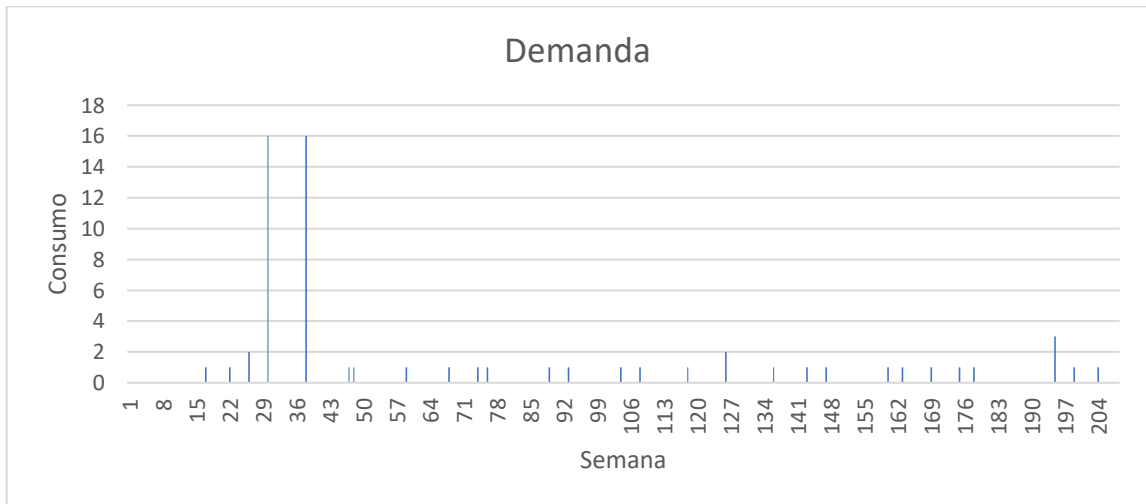


Figura 2.41 Consumo semanal del ítem 8002161

Para el ítem 8002185 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.42, donde se obtuvo $CV^2= 0,24$ y $ADI=8,33$; determinando un tipo de demanda intermitente.

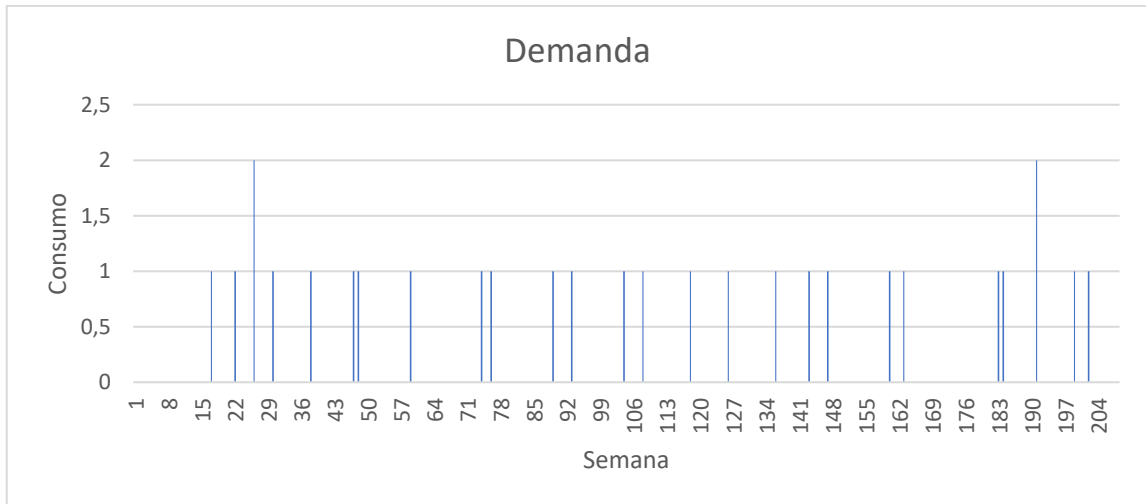


Figura 2.42 Consumo semanal del ítem 8002185

Para el ítem 8002409 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.43, donde se obtuvo $CV^2= 0,5$ y $ADI=20,4$; determinando un tipo de demanda grumosa.

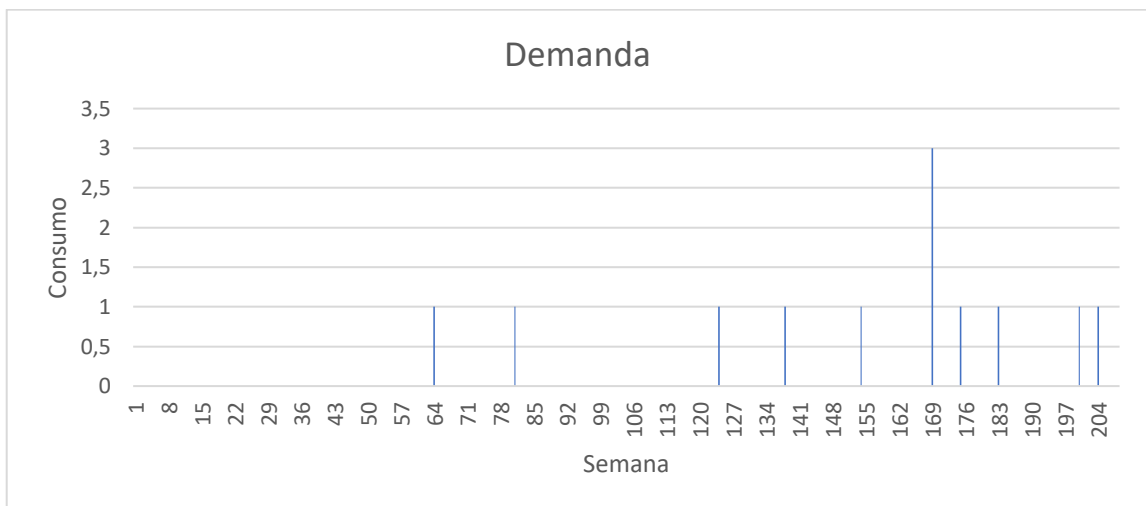


Figura 2.43 Consumo semanal del ítem 8002409

Para el ítem 8002395 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.44, donde se obtuvo $CV^2= 0,29$ y $ADI=25,25$; determinando un tipo de demanda intermitente.

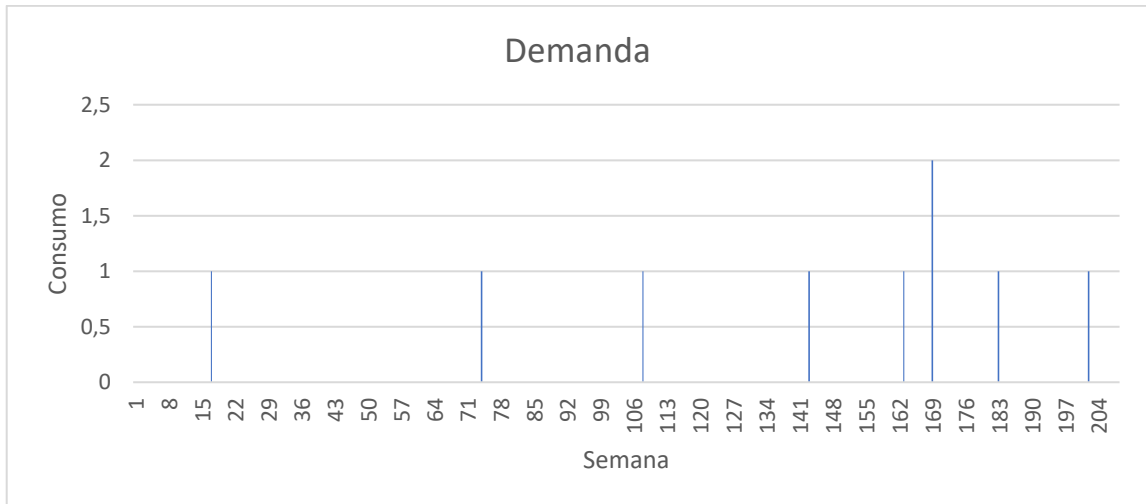


Figura 2.44 Consumo semanal del ítem 8002395

Para el ítem 8003121 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.45, donde se obtuvo $CV2= 0$ y $ADI=23,38$; determinando un tipo de demanda intermitente.

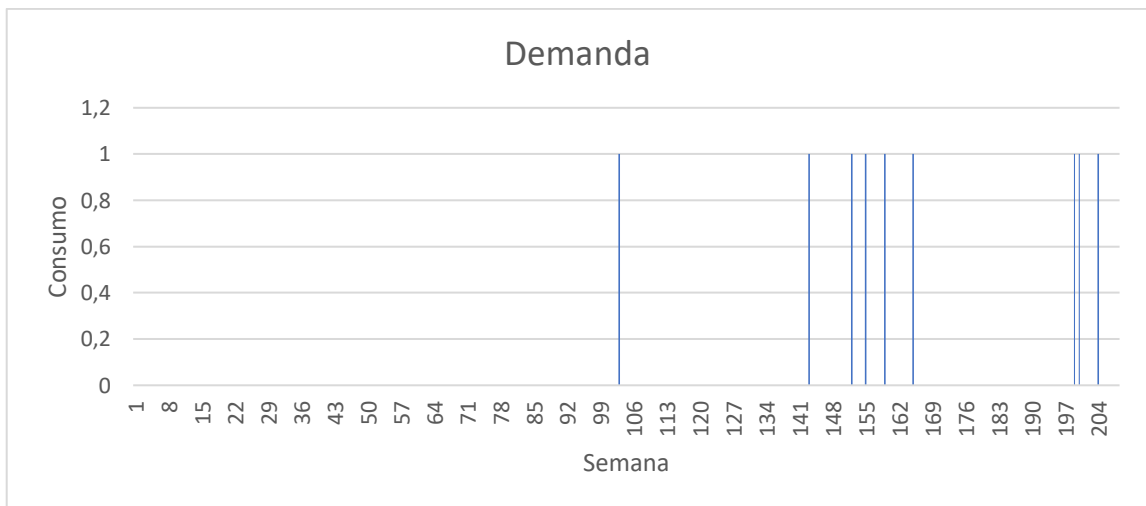


Figura 2.45 Consumo semanal del ítem 8003121

Para el ítem 8003652 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.46, donde se obtuvo $CV2= 0$ y $ADI=92,5$; determinando un tipo de demanda intermitente.

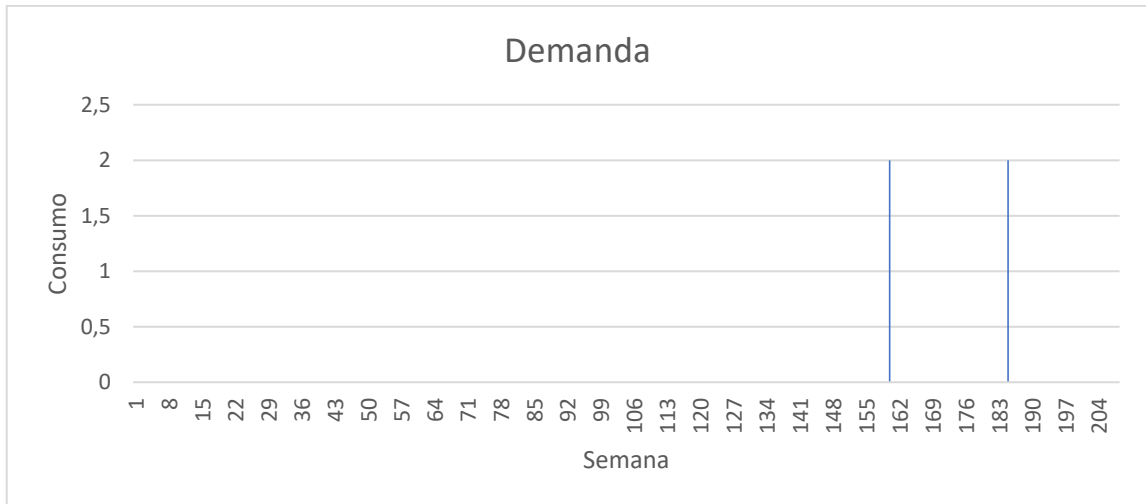


Figura 2.46 Consumo semanal del ítem 8003652

Para el ítem 8002448 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.47, donde se obtuvo $CV2= 0,98$ y $ADI=5,11$; determinando un tipo de demanda grumosa.

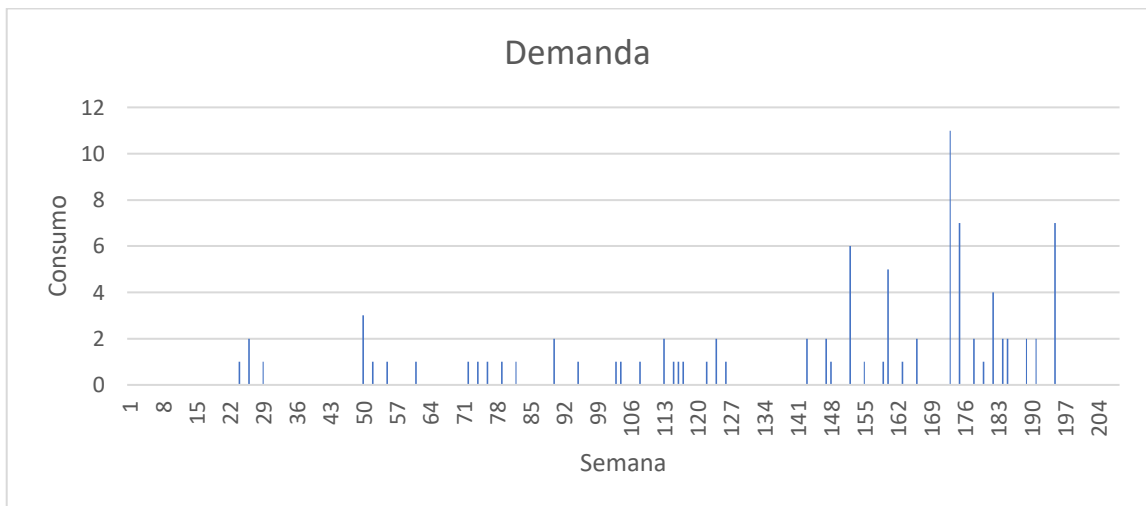


Figura 2.47 Consumo semanal del ítem 8002448

Para el ítem 8001840 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.48, donde se obtuvo $CV2= 0,77$ y $ADI=24,71$; determinando un tipo de demanda grumosa.

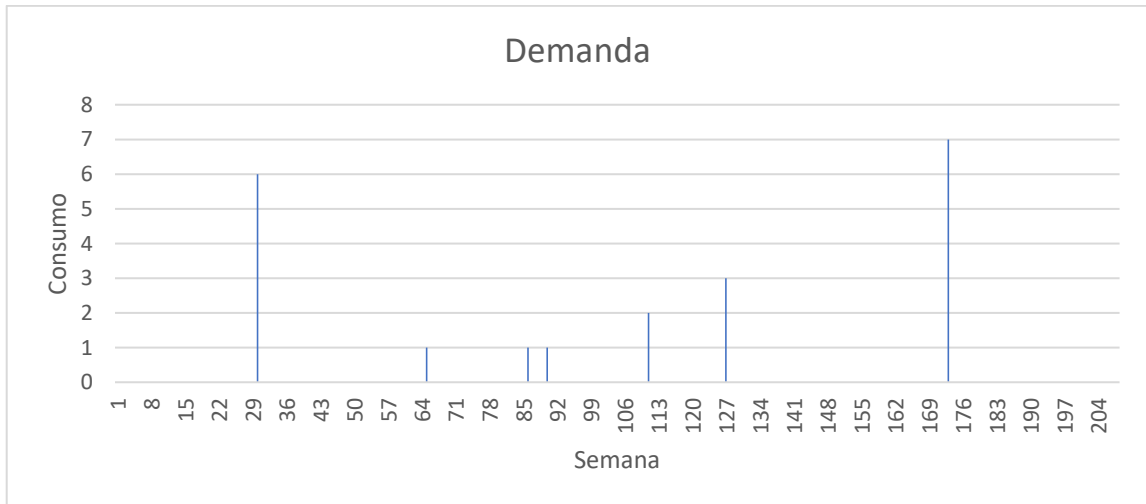


Figura 2.48 Consumo semanal del ítem 8001840

Para el ítem 8001974 se observa el comportamiento del consumo semanal en la figura 2.49, donde se obtuvo $CV= 0,57$ y $ADI= 40,8$; determinando un tipo de demanda grumosa.

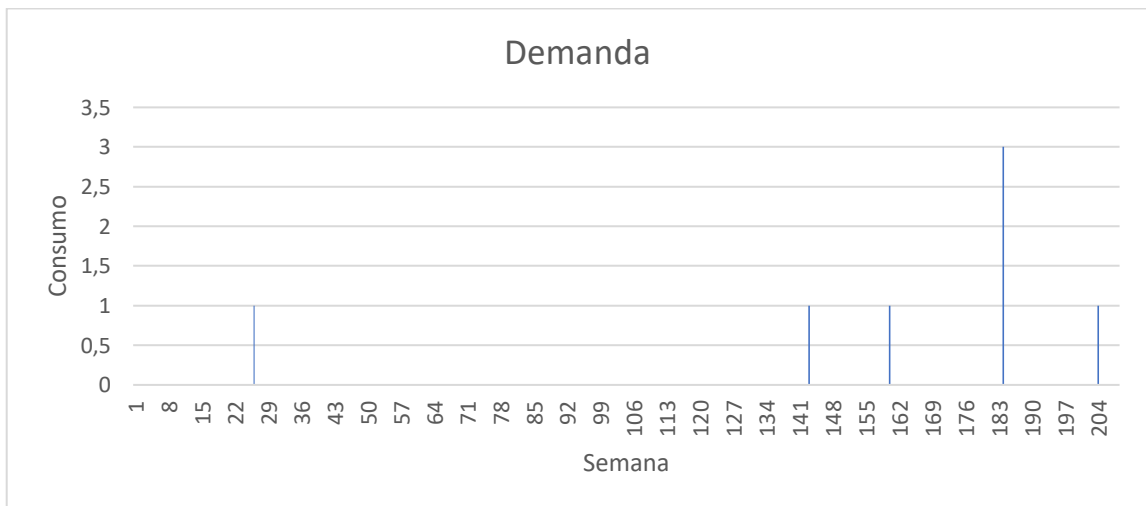


Figura 2.49 Consumo semanal del ítem 8001974

Pronóstico y medición de errores

Ya una vez identificadas el comportamiento de la demanda para los 17 ítems, lo siguiente que se realizó fue el pronóstico; para lo siguiente se ejecutó un modelo en Excel que permitiese medir la magnitud de la demanda y los intervalos que ocurren estas y un pronóstico basándose en un modelo Syntetos – Boylan, en la figura 2.50 se puede apreciar la herramienta en Excel.

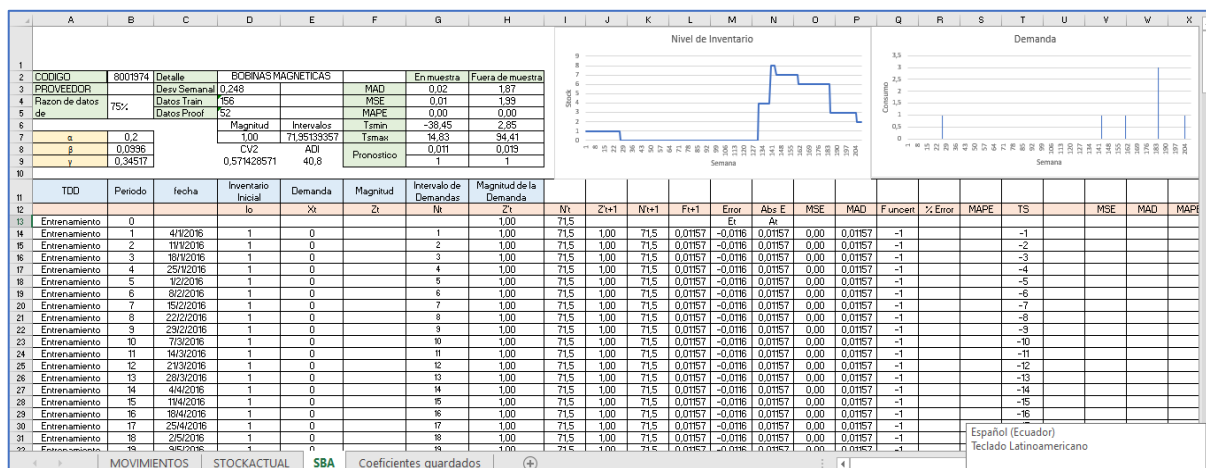


Figura 2.50 Modelo de pronóstico de aproximación de SB en Excel.

Utilizando este modelo en Excel se calcularon cada uno de los parámetros necesarios para los pronósticos de los 17 ítems, se utilizó la herramienta solver para calcular los coeficientes de ajuste para la magnitud, el coeficiente de ajuste para los intervalos y el coeficiente Syntetos–Boylan para el pronóstico. Los resultados obtenidos se pueden ver en la tabla 2.29.

Tabla 2.29 Coeficientes de ajuste, valores de pronóstico y MSE de ítems

Código	Alfa	Beta	Coeficiente SB	Magnitud	Intervalos	MSE
8002036	0,20	0,00	0,21	1,00	23,71	0,04
8000293	0,20	0,00	0,10	1,00	49,22	0,02
8000109	0,20	0,10	0,35	2,00	8,07	0,39
8002399	0,01	0,01	0,05	1,00	15,19	0,06
8003033	0,01	0,01	0,05	1,71	21,04	0,17
8001827	0,01	0,01	0,01	11,99	5,15	21,19
8002894	0,01	0,01	0,36	1,90	9,83	0,37
8002893	0,01	0,01	0,36	2,00	12,96	0,38
8002161	0,01	0,01	0,20	1,32	7,27	3,34
8002185	0,20	0,00	0,12	1,01	7,58	0,13
8002409	0,02	0,00	0,02	1,00	30,79	0,03
8002395	0,20	0,00	0,17	1,00	35,87	0,02
8001840	0,00	0,12	0,33	2,24	20,67	0,33
8003121	0,00	0,00	0,01	1,00	38,75	0,02
8003652	0,00	0,00	0,00	2,00	12,50	1,98
8002448	0,00	0,00	0,01	1,45	5,31	0,51
8001974	0,00	0,00	0,17	1,00	71,95	0,01

Selección de Modelos de Inventario

Una vez obtenido los pronósticos para los 17 ítems, se elaboró un análisis de los diferentes modelos de gestión de inventario para determinar qué sistema de políticas se ajusta mejor al comportamiento de estos ítems.

Los repuestos son muy esenciales en la mayoría de las empresas industriales. Se caracterizan por su gran número y su alto impacto en las operaciones de las empresas siempre que sea necesario; las empresas tienden a analizar su demanda de repuestos e intenta estimar su consumo futuro, sin embargo, se enfrentan a dificultades para encontrar un método de pronóstico óptimo que se ocupe de la demanda irregular e intermitente de repuestos (Syntetos & Boylan, 2001).

En base a estudios realizados con anterioridad se ha observado que una revisión periódica (T, S) es muy sensible con respecto a los tiempos de revisión y a los niveles de la demanda; en el caso de productos que tienen baja demanda como lo son los repuestos de maquinaria se puede realizar periodos de revisión equilibrados con respecto a estas demandas (Sezen, 2006).

El modelo seleccionado fue en base a las condiciones dadas por los ítems de estudio, estos principalmente presentan una demanda probabilística y que gran parte de ellos pueden ser solicitados a un proveedor; Con esto se decidió optar por un modelo de Revisión (T, S) y un sistema de reabastecimiento coordinado como se puede apreciar en la figura 2.51.

	Tipo de Demanda	Comportamiento	Supuestos	Modelos de Gestión de Inventario	
DEMANDA	Independiente	Determinística	Demanda y tiempos de entregas ciertos y constantes.	Reabastecimiento coordinado.	Contenedor Compartido
			Demanda y tiempos de entrega ciertos y variables.	EOQ	Inventario Base
	Dependiente	Probabilística	Demanda y tiempos de entrega inciertos ciertos y variables.	Lote a Lote	Revisión Continua (s,Q)
		Determinística	Demanda y tiempos de entrega ciertos y variables/contantes.	Wagner-Within	Revisión Continua (s,S)
				Reabastecimiento Opcional	
				MRP (Push)	
				Orden única	Kanban (Pull)
				Revisión Periódica (T,S)	

Figura 2.51 Clasificación de la demanda y modelos de gestión de inventario

Definición de políticas de inventario

Una vez ya elegido los modelos que se usaran; se estableció de qué manera pueden ser estas calculadas, se utilizó primero el sistema de reabastecimiento coordinado, con el cual en base a las cantidades optimas a pedir en un único pedido una lista de ítems, se determinó un tiempo donde coordinen el punto de reabastecimiento de todos los ítems a solicitar.

Se realizó un modelo en Excel para el cálculo ágil de los parámetros como se puede ver en la figura 2.52.

Reabastecimiento Conjunto			Definición de tiempo										
Costo de Pedir por Orden (A)	260	Dolares	1 Año	52	Semanas								
Costo incremental por ítem (a)	0,75	Dolares	1 Año	12	Meses								
Interes de mantener (r)	15%		1 Mes	4,333	Semanas								
Lead Time	18	Semanas											
						Restriccion	Funcion Objetivo						
						1	0						
1.- Determinación del EOQ y el tiempo entre pedidos						2.- Determinación de los valores alfa (usando solver) y los nuevos tiempos entre pedidos							
Item	Demanda Anual	Costo Unitario	Desviacion estandar de la demanda semanal	EOQ	Tiempo de reabastecimiento en semanas	Alfa	Tiempo de reabastecimiento en semanas	Aproximacion a potencia de 2	Tmin	Tmax	Tpractico	Tamaño de orden Promedio	Tamaño de orden Aproximada
	D	v	S	$\text{Raiz}(2aD / r \cdot v)$	$(\text{EOQ} / D) \cdot (\#semanas-año)$	$((T^{\wedge}2) \cdot r \cdot v \cdot D / 2A) - a/A$	$(\text{EOQ} / D) \cdot (\#semanas)$	(Semanas)				$\text{RAIZ}(2(\text{alfa} \cdot A + a) \cdot D / r \cdot v)$	$\text{EOQ} = T \cdot D / (\#semanas-año)$
8002399	4	501,73	0,23	0,28	3,67	0,070207396	18,48	16,00	13,07	26,13	26,00	1,42	2
8003033	6	339,16	0,953	0,42	3,65	0,07	18,48	16,00	13,07	26,13	26,00	2,13	3
8001827	82	5,42	6,066	12,30	7,80	0,01	18,48	16,00	13,07	26,13	26,00	29,14	41
8002894	6	38,56	0,528	1,25	10,81	0,01	18,48	16,00	13,07	26,13	26,00	2,13	3
8002893	7	38,17	0,537	1,35	10,06	0,01	18,48	16,00	13,07	26,13	26,00	2,49	4
8002161	17	800,16	1,602	0,46	1,41	0,49	18,48	16,00	13,07	26,13	26,00	6,04	9
8002185	6	705,05	0,368	0,29	2,53	0,15	18,48	16,00	13,07	26,13	26,00	2,13	3
8002409	2	1919,28	0,288	0,10	2,65	0,14	18,48	16,00	13,07	26,13	26,00	0,71	1
8002395	1	1513,79	0,226	0,08	4,23	0,05	18,48	16,00	13,07	26,13	26,00	0,36	1

Figura 2.52 Modelo de reabastecimiento coordinado en excel.

En la tabla 2.30 se puede ver el modelo realizado, se asignaron coeficientes que permitan definir un periodo similar para todos los ítems a coordinar. Estos coeficientes fueron calculados a partir del uso de solver.

Tabla 2.30 EOQ y tiempos de revisión por reabastecimiento coordinado por ítem

Ítem	Demanda Anual	Valor Unitario	EOQ	Tiempo de reabastecimiento	Tiempo de reabastecimiento ajustado	EOQ ajustado
8002036	2	2944,50	0,08	2,14	27	1
8000293	1	658,92	0,12	6,41	27	1
8000109	11	588,83	0,43	2,04	27	7
8002399	4	501,73	0,28	3,67	26	2
8003033	6	339,16	0,42	3,65	26	3
8001827	82	5,42	12,30	7,80	26	41
8002894	6	38,56	1,25	10,81	26	3
8002893	7	38,17	1,35	10,06	26	4
8002161	17	800,16	0,46	1,41	26	9
8002185	6	705,05	0,29	2,53	26	3
8002409	2	1919,28	0,10	2,65	26	1
8002395	1	1513,79	0,08	4,23	26	1
8003121	8	311,04	0,51	3,30	26	5
8003652	4	1638,09	0,16	2,03	26	2
8002448	18	115,51	1,25	3,61	26	11
8001840	5	146,13	0,58	6,08	26	3
8001974	7	694,58	0,32	2,36	26	4

Con los tiempos de reabastecimiento definidos para cada uno de los 17 ítems se definió un stock máximo para cada uno de estos.

Utilizando la fórmula:

$$S_{\text{máx}} = D_{(T+L)} + k\sigma_{(T+L)} \quad (2.9)$$

Se elaboró un modelo en Excel que permita calcular un inventario máximo a mantener, el cual será revisado en los tiempos definidos por el reabastecimiento coordinado y este en base al comportamiento de la demanda que permita ir adaptándose para definir el stock más adecuado en base a esta. En la figura 2.53 se puede ver la simulación en Excel del Modelo de Revisión Periódica.

Para conocer el stock de seguridad se identificó la probabilidad de requerir cada uno de los ítems y mediante simulaciones se halló el factor k que se aproxime a un 95% del nivel de servicio.

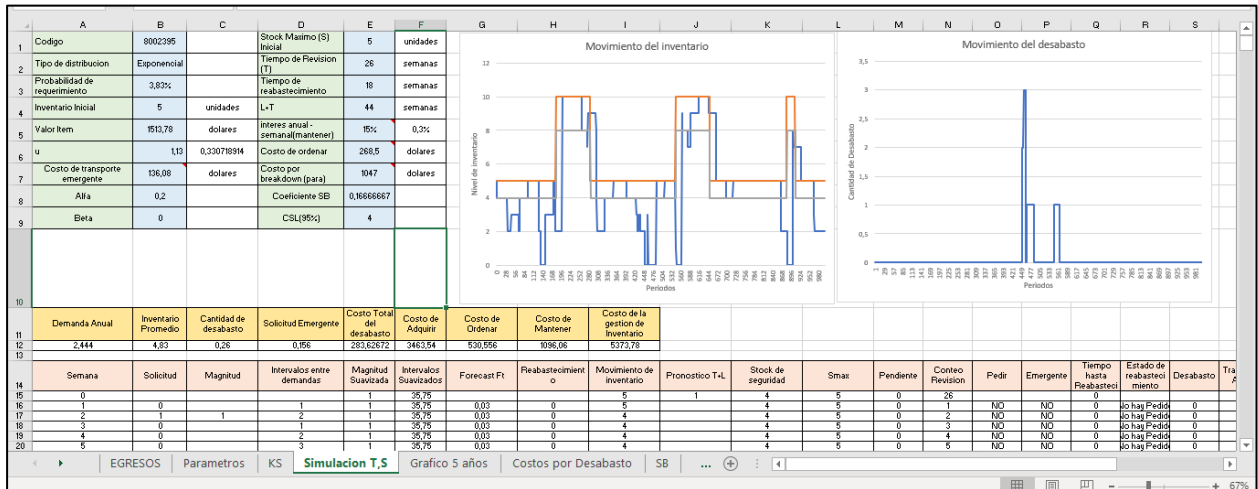


Figura 2.53 Modelo de revisión periódica en excel

Con el stock máximo calculado para cada uno de los ítems se definieron las políticas de reabastecimiento para cada ítem como se muestra en la figura 2.54.

ÍTEMS	STOCK MÁXIMO (S)	TIEMPO DE REVISIÓN (T)
8002036	5	27 semanas
8000293	6 - 12	27 semanas
8000109	18 - 30	27semanas
8002339	6	26 semanas
8003033	18 - 25	26 semanas
8001827	170 - 200	26 semanas
8002894	13 - 16	26 semanas
8002893	13 - 16	26 semanas
8002161	33 - 38	26 semanas
8002185	13 - 19	26 semanas
8002409	5	26 semanas
8002395	5 - 10	26 semanas
8003121	4	26 semanas
8003652	3	26 semanas
8002448	32	26 semanas
8001840	18 - 30	26 semanas
8001974	5	26 semanas

Figura 2.54 Definición de stock máximos y tiempos de revisión para ítems de estudio

Los ítems con valor único no presentan un cambio en la demanda a lo largo del tiempo y los ítems en un rango de valores son aquellos cuyo stock máximo a mantener es dinámico y se va adaptando según la demanda en el tiempo para tener lo necesario sin recurrir a desabastos manteniendo bajos niveles de inventario.

Las políticas ya definidas nuevamente fueron simuladas a largo plazo donde se observó que el nuevo sistema puede generar un costo de la gestión de inventario en los 17 ítems de hasta \$63,617 al año.

2.5.2. Plan de toma física de inventario

A partir de la base de egresos del sistema de la compañía y los valores unitarios de los ítems de la bodega del último año, se procedió a determinar el consumo monetario por cada uno de los ítems, logrando obtener una lista de 2160 ítems como lo muestra la figura 2.55.

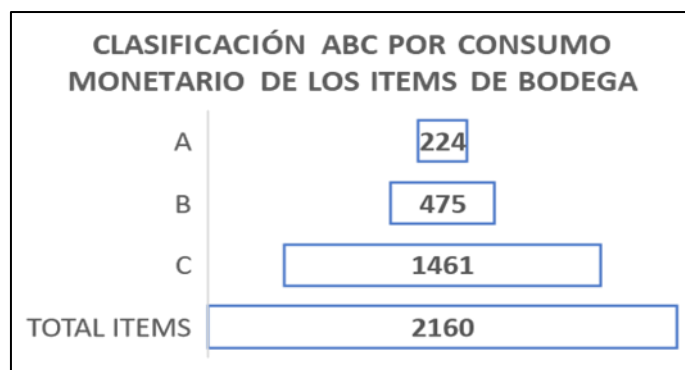


Figura 2.55 Cantidad de SKU's por clasificación de consumo monetario

La clasificación mostró tener 224 ítems A, 475 ítems B Y 1461 ítems C. Se recomienda que los ítems A sean revisados al menos cuatro veces al año, los ítems B 2 veces al año y los ítems C una vez al año, por lo cual, se procedió a tomar los tiempos para la actividad de toma física de inventario. La tabla 2.31 muestra los escenarios en base a la cantidad de ítems a revisar al año por cada clase.

Tabla 2.31 Escenarios para Toma Física de Inventario.

CANTIDAD DE REVISIONES AL AÑO			
A	4	8	12
B	2	4	6
C	1	2	3
TIEMPO PROMEDIO SEMANAL	2:46:09	5:32:19	8:18:28
DESVIACIÓN	0:08:38	0:17:16	0:25:54

En la tabla 2.32 puede observar que realizando 12 tomas de inventario para los ítems A, seis para los B y tres a los C en el año, se debe destinar entre (07:57 h a 08:43 h) a la semana.

Además, la empresa destina diez horas hombre para la actividad de toma física de inventario por lo cual, esta cantidad de tomas de inventario es óptima.

Tabla 2.32 Plan de Toma Física seleccionado.

CLASE	CANTIDAD DE REVISIONES AL AÑO	TOTAL DE ÍTEMS POR CLASE	ÍTEMS A REVISAR DÍA	ÍTEMS A REVISAR SEMANA
A	12	224	11	57
B	6	475	12	60
C	3	1461	18	87
		TIEMPO	1:39:42 ± 00:05:11	08:18:28 ± 00:25:54

Finalmente, en la semana se revisarán 57 ítems A, 60 ítems B y 87 ítems C con un tiempo promedio de 08:18:28 h.

2.6. Plan de Control

Con la finalidad que las mejoras planteadas se mantengan en el tiempo se establecen los controles detallados en la tabla 2.33.

Tabla 2.33 Plan de control de soluciones

¿Qué?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Dónde?	¿Quién?	¿Cuándo?	Estado
Capacitación para realizar clasificación ABC	Es necesario para determinar qué artículos y con qué frecuencia serán revisados para mejorar la precisión del inventario.	Mediante el desarrollo de una instrucción que detalla la información necesaria y el cálculo estadístico para realizar la clasificación del consumo monetario.	Bodega de piezas de repuestos	Coordinador y Auxiliar de bodega	Anual	Listo
Registro para el control del inventario físico.	Es necesario controlar el tiempo dedicado a realizar un inventario y la precisión del inventario.	En el desarrollo de la actividad y el llenado de los campos del inventario, toma de formato físico.	Bodega de piezas de repuestos	Auxiliar de bodega	Diario	Listo
Capacitación para el uso de la herramienta en Excel para el control de inventario con las políticas de reposición de inventario.	Necesitan saber cuándo y cuánto reponer para reducir los costos en la gestión de inventario.	En el desarrollo de la actividad y en el llenado de los campos de la herramienta en EXCEL.	Bodega de piezas de repuestos	Coordinador de bodega	Diario	Listo
Registro para el control de desabasto.	El registro de la escasez les permite conocer el nivel de servicio del almacén.	En el envío de artículos, cada vez que no se pueda entregar por falta de stock, se registrará en el formato.	Bodega de piezas de repuestos	Auxiliar de bodega.	Diario	Listo

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1. Políticas de Inventario

Con el nivel de reabastecimiento definido para los 17 ítems utilizando una política de stock máximo dinámico y tiempos de revisión con el reabastecimiento coordinado.

Se evidencia un ahorro de \$30332 para el año 2019 de haber implementado hace un año atrás, como se observa en la figura 3.1; también se puede ver en la tabla 3.1 los costos asociados a cada proveedor y en las figuras 3.2, 3.3 y 3.4 la diferencia entre cada rubro del costo total de la gestión de inventario.

Con los resultados obtenidos estos fueron analizados utilizando una herramienta estadística cuya prueba de hipótesis fue:

H_0 : Costo de la Gestión de Inventario con políticas < Costo de la Gestión de Inventario sin políticas.

H_1 : Costo de la Gestión de Inventario con políticas \geq Costo de la Gestión de Inventario sin políticas.

$$t' < t_{\alpha=0,1;n=12} = 1,356 \quad (3.1)$$

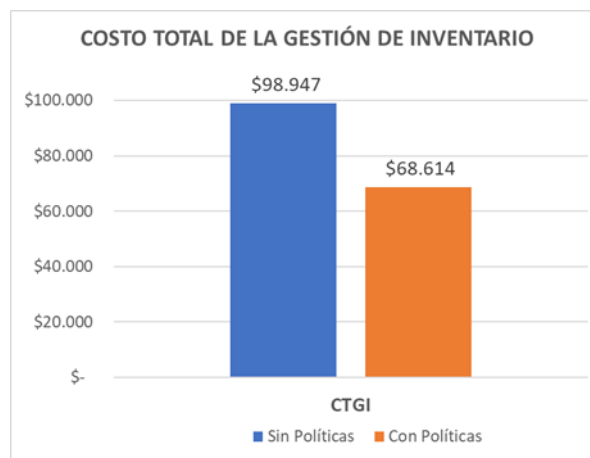


Figura 3.1 Comparación del costo de la gestión de Inventario sin políticas - con políticas

Tabla 3.1 Costos asociados al inventario por proveedor sin políticas - con políticas.

P1	Costo de Desabasto	Costo de Material	Costo de Ordenar	Costo de Mantener	Costo de la gestión de Inventario
Sin Políticas	\$ 2.421	\$ 12.936	\$ 1.072	\$ 538	\$ 16.967
Con Políticas	\$ 595	\$ 12.356	\$ 516	\$ 2.553	\$ 16.020

P2	Costo de Desabasto	Costo de Material	Costo de Ordenar	Costo de Mantener	Costo de la gestión de Inventario
Sin Políticas	\$ 14.446	\$ 34.258	\$ 3.752	\$ 7.799	\$ 60.256
Con Políticas	\$ 1.257	\$ 33.171	\$ 515	\$ 7.799	\$ 42.743

P3	Costo de Desabasto	Costo de Material	Costo de Ordenar	Costo de Mantener	Costo de la gestión de Inventario
Sin Políticas	\$ 10.061	\$ 12.237	\$ 2.144	\$ 2.385	\$ 26.827
Con Políticas	\$ 480	\$ 6.457	\$ 530	\$ 2.385	\$ 9.851

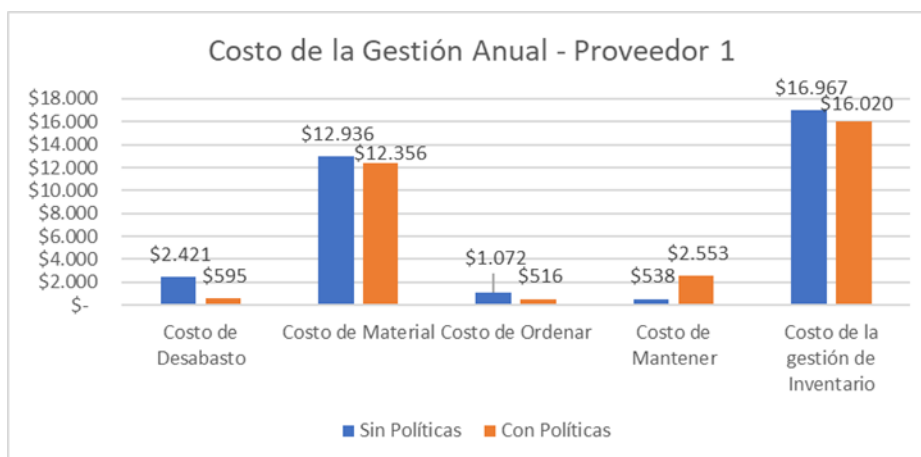


Figura 3.2 Costo sin políticas y con políticas del proveedor 1

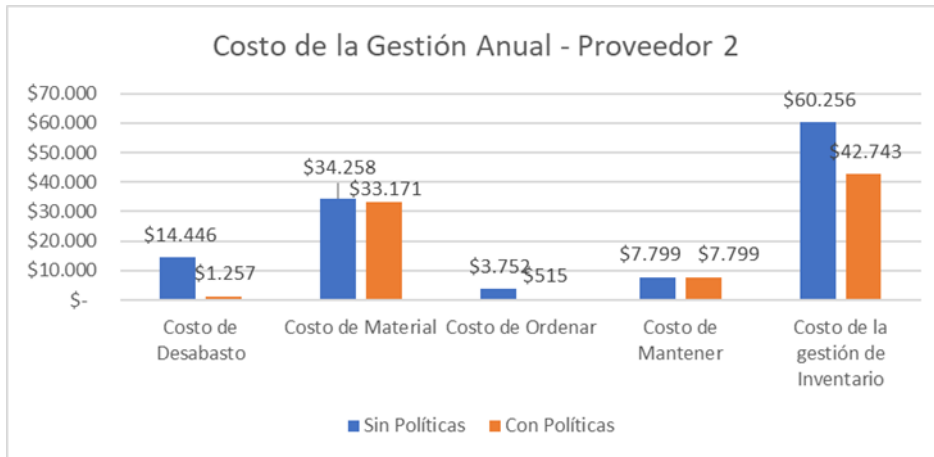


Figura 3.3 Costo sin políticas y con políticas del proveedor 2

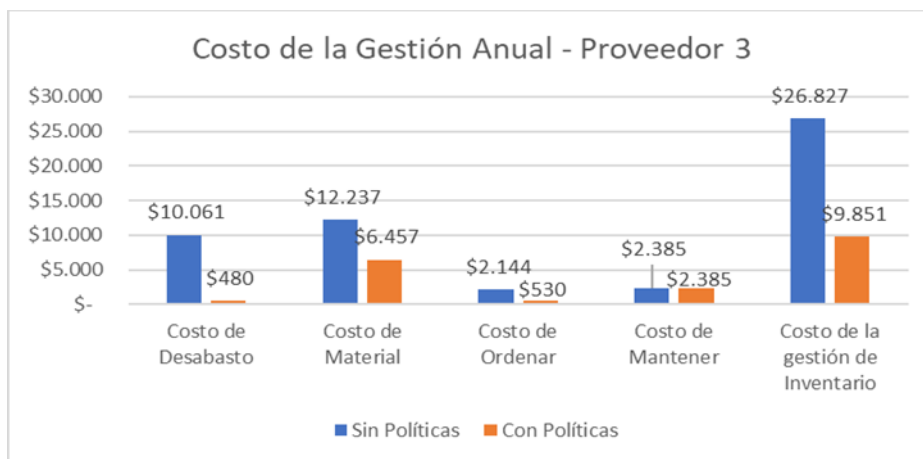


Figura 3.4 Costo sin políticas y con políticas del proveedor 3

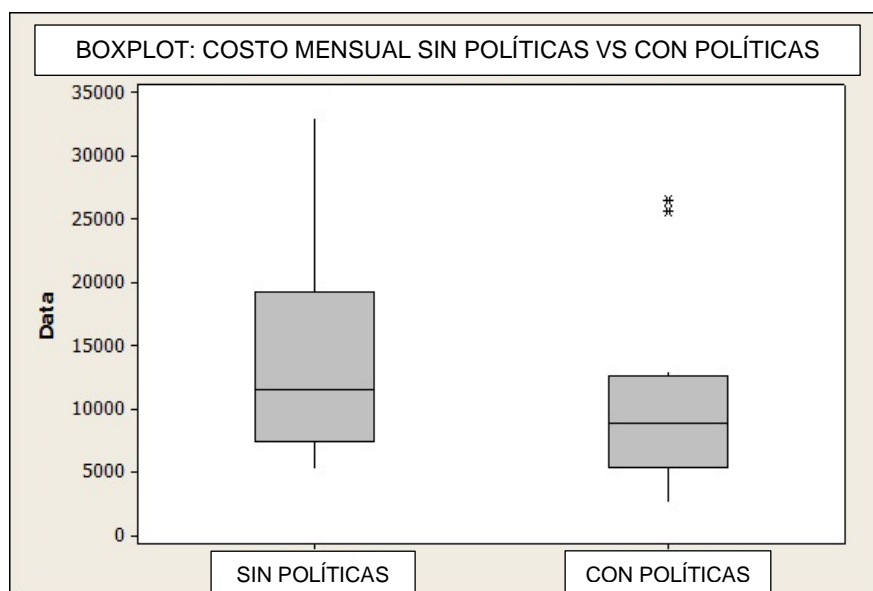


Figura 3.5 Diagrama de cajas costos mensuales sin políticas y con políticas

Con un valor de p obtenido de $1,073 < 1,356$ no se rechaza H_0 que el Costo de la Gestión de Inventario con políticas es menor que el Costo de la Gestión de Inventario sin Políticas, como se evidencia en la figura 3.5.

Este valor es considerado un ahorro de \$ 30 332, representando una reducción en el Costo de la Gestión de Inventario del año 2019 de los 17 ítems estudiados en un 31%.

3.2. Toma física de inventario

Con el Plan de toma física de inventario basado en el método de recuento cíclico a partir de la clasificación ABC por consumo monetario, se obtuvieron los siguientes resultados de la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Análisis de tiempos para toma física de inventario antes y después de plan definido

	ANTES	DESPUÉS
MÉTODO	Selección aleatoria de ítems por perchas o por costo unitario.	Método de recuento cíclico a partir de la clasificación ABC por consumo monetario.
CANTIDAD	250 ítems /semana	204 ítems/semana
HORAS HOMBRE DESTINADAS/ SEMANA	10: 19: 51 ± 00: 42: 15	08: 18: 28 ± 00: 25: 54
HORAS HOMBRE DISPONIBLE	10 horas hombre/semana	

Esto logró una reducción de la carga de trabajo en un 21%, permitiéndoles mayor enfoque en los ítems de mayor impacto para la compañía.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- En base de las simulaciones realizadas, las políticas de reabastecimiento propuestas reducen el costo anual de la gestión de inventario del año 2019 de los 17 ítems de estudio de \$ 98 947 a \$ 68 614; equivalente a una reducción del 31%.
- La implementación del modelo de reabastecimiento coordinado se redujo el número de órdenes realizadas en el año 2019 de 11 a 6, ahorrando en recursos y papeles hasta en un 40% del proceso para la gestión de los 17 ítems de estudio.
- El nuevo sistema para la toma física de inventario redujo la cantidad de horas hombre a la semana para la actividad de 10h19min a 8h18min en promedio, equivalente a una reducción del 21% de la carga de trabajo.

4.2. Recomendaciones

- Actualizar la base de datos de Demandas cada 6 meses para la revisión periódica (T, S) para un mejor seguimiento al comportamiento de esta y no incurrir en desabasto o exceso de inventario mediante el cálculo de un nuevo punto de reorden para el stock máximo.
- Capacitar al personal de la bodega en el uso del sistema SAP para mejorar la eficiencia de sus operaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Cortés, J. A. (2014). *Fundamentos de la Gestión de Inventarios*. Medellín: Esumer.
- Ghobbar, A., & Friend, H. (2002). *Sources of intermittent demand for aircraft spare parts within airplane operations*. DOI:10.1016/S0969-6997(01)00054-0: *Journal of Air Transport Management*, 8(4), pp.
- Gutiérrez, H. (2010). *Calidad Total y Productividad 3° Edición*. México DF: McGraw Hill.
- Gutiérrez, H. (2010). Gestión de la Calidad e ISO-9000:2005. En *Calidad Total y Productividad 3° Edición* (págs. 66-67). México DF: McGraw Hill.
- Gutierrez, H. (2010). Introducción a Seis Sigma. En *Calidad Total y Productividad 3° Edición* (págs. 291-293). Mexico DF: Mc Graw Hill.
- Gutiérrez, H. (2010). Introducción a Seis Sigma. En *Calidad Total y Productividad 3° Edición* (pág. 280). México DF: McGraw Hill.
- Hopp, W., & Spearman, M. (2011). *Factory Physics*. Chicago: Waveland Press, Inc.
- Muller, M. (2003). *Essentials of Inventory*. New York: Amacon.
- Perdomo, A. (2000). *Administración Financiera de Inventarios*. Stamford: Thomson.
- Peter Meindl, & Sunil Chopra. (2008). *Administración de la cadena de suministro*. Mexico DF: Pearson.
- Russell, R., & Krajewski, L. (1992). Coordinated Replenishments from a common supplier. En *Decision Sciences* (pág. 610). Atlanta.
- Sezen, B. (2006). *Changes in performance under various lengths of review periods in a periodic review inventory control system with lost sales: A simulation study*. DOI: 10.1108/09600030610676240: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.
- Sha Zhu, Williem van Jaarsveld, & Rommert Dekker. (2019). *Spare parts Inventory control based on maintenance planning*. Obtenido de *Reliability Engineering & System Safety*: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.106600>.
- Sunil Chopra, & Peter Meindl. (2013). *Administración de la cadena de suministro*. Mexico DF: Pearson.
- Syntetos, A., & Boylan, J. (2001). *On the bias information estimates*. DOI: 10.1057/jors.1972.50: *International Journal of Production Economics*, 71(2).
- Viale J. David. (1996). *Basics of Inventory Management*. CA: Course Technology Crisp.

APÉNDICES

APÉNDICE A: Costo Mensual de la Gestión de Inventario Sin Políticas.

Costo Mensual de la Gestión de Inventario Sin Políticas													
Código	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	Suma ítem
8002036	441,68	441,68	441,68	441,68	7098,90	441,68	220,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9528,11
8000293	197,68	197,68	148,26	49,42	0,00	0,00	0,00	0,00	10067,98	593,03	593,03	593,03	12440,10
8000109	176,65	176,65	176,65	176,65	176,65	88,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	971,57
8002399	0,00	0,00	0,00	1818,32	37,63	0,00	0,00	1754,44	2545,06	413,93	376,30	376,30	7321,98
8003033	7935,89	712,24	712,24	6435,48	839,42	763,11	763,11	763,11	686,80	559,61	508,74	508,74	21188,49
8001827	88,62	72,76	62,60	62,60	55,28	47,97	1138,69	0,00	0,00	0,00	1114,71	0,00	2643,23
8002894	173,52	173,52	173,52	170,63	167,74	167,74	477,34	173,52	173,52	173,52	173,52	173,52	2371,60
8002893	166,04	166,04	166,04	166,04	166,04	166,04	166,04	166,04	166,04	166,04	166,04	166,04	1992,47
8002161	540,11	420,08	300,06	240,05	120,02	0,00	0,00	0,00	7202,21	60,01	7748,91	2820,56	19452,02
8002185	475,91	370,15	317,27	317,27	317,27	2259,03	423,03	1610,06	6607,03	793,18	687,42	687,42	14865,05
8002409	1727,35	1727,35	1295,51	863,68	2061,94	1077,33	6671,29	1151,57	1151,57	1007,62	719,73	719,73	20174,68
8002395	2545,49	1248,88	908,27	681,21	681,21	681,21	567,67	454,14	454,14	454,14	340,60	1523,68	10540,63
8001840	21,92	21,92	1624,22	6355,82	306,87	306,87	2618,40	350,71	350,71	350,71	350,71	350,71	13009,59
8003121	1413,18	69,98	46,66	46,66	46,66	46,66	46,66	46,66	1596,99	93,31	1812,83	93,31	5359,55
8003652	737,14	491,43	491,43	491,43	491,43	491,43	245,71	0,00	0,00	0,00	1963,28	0,00	5403,27
8002448	155,94	95,30	69,31	5371,05	303,21	181,93	1193,94	155,94	60,64	0,00	1645,62	0,00	9232,87
8001974	677,22	625,12	625,12	625,12	625,12	625,12	468,84	312,56	312,56	312,56	260,47	260,47	5730,29
Suma mes	17474,33	7010,77	7558,83	24313,10	13495,39	7344,42	15001,56	6938,74	31375,26	4977,67	18461,91	8273,52	162225,48

APÉNDICE B: Costo Mensual de la Gestión de Inventario Sin Con Políticas.

Costo Mensual de la Gestión de Inventario Con Políticas													
Código	ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sep-19	oct-19	nov-19	dic-19	Suma ítem
8002036	441,68	441,68	441,68	441,68	7098,90	441,68	220,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9528,11
8000293	593,03	593,03	513,96	469,48	395,35	395,35	1981,70	395,35	0,00	0,00	0,00	0,00	5337,26
8000109	176,65	176,65	176,65	176,65	176,65	88,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	971,57
8002399	451,56	451,56	451,56	451,56	391,35	1146,53	376,30	376,30	376,30	357,49	376,30	1146,53	6353,35
8003033	915,74	915,74	915,74	763,12	213,67	5508,59	152,62	152,62	114,47	0,00	682,72	2625,69	12960,74
8001827	132,62	111,67	106,59	106,59	94,87	702,17	55,94	43,94	43,94	43,94	95,20	727,13	2264,59
8002894	92,54	92,54	92,54	91,10	86,76	393,82	86,76	86,76	86,76	86,76	92,54	361,04	1649,91
8002893	91,60	91,60	91,60	91,60	91,60	360,10	91,60	91,60	91,60	91,60	91,60	360,10	1636,21
8002161	540,11	420,08	300,06	240,05	120,02	0,00	0,00	0,00	7202,21	60,01	7748,91	2820,56	19452,02
8002185	1136,89	1004,70	951,82	951,82	951,82	2630,42	766,74	698,00	528,79	502,35	571,09	6437,69	17132,13
8002409	1439,46	1439,46	1266,72	575,78	345,47	8233,49	0,00	0,00	0,00	0,00	864,67	6602,11	20767,16
8002395	2545,49	1248,88	908,27	681,21	681,21	681,21	567,67	454,14	454,14	454,14	340,60	1523,68	10540,63
8001840	394,54	394,54	394,54	356,18	241,11	1532,49	241,11	241,11	279,47	394,54	394,54	663,04	5527,21
8003121	163,29	139,97	93,31	93,31	93,31	983,88	93,31	93,31	116,64	174,96	83,98	1248,26	3377,53
8003652	737,14	491,43	491,43	491,43	491,43	491,43	245,71	0,00	0,00	0,00	1963,28	0,00	5403,27
8002448	524,11	441,81	405,43	350,85	103,96	3996,02	4,00	5,00	142,61	259,89	259,89	2491,99	8985,55
8001974	765,25	706,39	706,39	706,39	706,39	706,39	529,79	353,19	353,19	353,19	294,33	294,33	6475,22
Suma mes	11141,71	9161,72	8308,28	7038,78	12283,86	28291,89	5414,09	2991,32	9790,11	2778,86	13859,66	27302,17	138362,46