

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

" Diseño del proceso de planificación agregada y programación maestra de
la producción en una empresa manufacturera"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIEROS INDUSTRIALES

Presentado por:

Larisa Tairy Acosta Villamar

Leonardo Guillermo Sabagay Cueva

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2017

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme salud y fortaleza para cumplir mis metas, a mi familia por la motivación y el apoyo incondicional, al MSc. Jaime Macías por sus valiosas instrucciones para poder concluir este proyecto y a mi compañero de tesis por su paciencia.

Larisa Tairy Acosta Villamar

A mi familia por ser un pilar fundamental en mi vida, a mi compañera/amiga de tesis por tenerme paciencia en todo momento, a nuestros profesores que con su sabia enseñanza han proporcionado el conocimiento necesario y principalmente a Dios por darme sabiduría y fortaleza día a día poder alcanzar las metas propuestas.

Leonardo Guillermo Sabagay Cueva

DECLARACIÓN EXPRESA

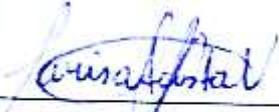
“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la Materia Integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Autor 1: Larisa Tairy Acosta Villamar

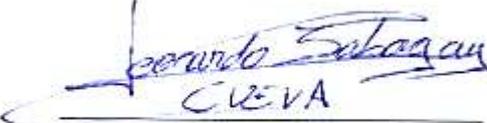
Autor 2: Leonardo Guillermo Sabagay Cueva

Director: MSc. Jaime Macias Aguayo

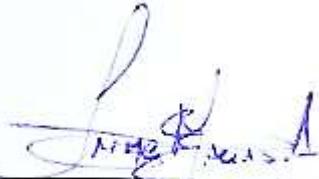
Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Larisa Acosta Villamar



Leonardo Sabagay Cueva



MSc. Jaime Macias Aguayo

RESUMEN

La empresa dedicada a la producción y distribución de productos de acero de alta calidad afronta altos costos de operación, para satisfacer la demanda del mercado. Actualmente el costo de operación por tonelada oscila entre \$773,44 y \$707,84.

Por tal motivo, se propone diseñar el proceso de planificación de la producción con un horizonte de seis meses, con la finalidad de cumplir con los requerimientos de los clientes mientras se reduce el costo de operación asociado a una línea de producción de una máquina en específico.

El proyecto se desarrolló con la metodología DMAIC, la misma que inició con la definición del problema ya mencionado, analizar los datos proporcionados y en base a ello realizar el análisis de causas, identificando la causa raíz del problema para luego establecer una propuesta de mejora que implique bajo esfuerzo y cause alto impacto, teniendo como resultado la elaboración de una herramienta para la planificación agregada y maestra de la producción.

Con el desarrollo de la herramienta, el costo promedio de operación para la línea de producción asignada se redujo en un 13%, lo que significa que el costo con la herramienta de planeación es \$650,49 por tonelada, también los niveles de inventario de producto terminado fueron reducidos en un 51% como resultado de establecer los niveles óptimos, las toneladas sin procesar se redujeron en un 100% y las toneladas procesadas en otra máquina se redujeron en un 95% por el aumento de la capacidad operando la máquina con 3 turnos. Se observó que es más conveniente para la empresa contratar un turno más para que pagar horas extras todos los días de la semana.

Palabras Clave: Planificación de la producción, costo de operación, capacidad de producción, línea de producción.

ABSTRACT

The company dedicated to the manufacturing and distribution of high quality steel products faces high operation costs to satisfy the demand. Currently, the operation cost per ton vary from \$ 707,84 to \$ 773,44

For this reason, it is proposed to design the production planning process with a six-month horizon, in order to meet the requirements of customers while reducing the operation cost associated with a production line of a specific machine.

The project was developed with the DMAIC methodology, which began with the definition of the problem, analyze the data provided and based on it perform the analysis of causes, identifying the root cause of the problem and then establish a proposal for improvement involves low effort and high impact, resulting the development of a tool for aggregate planning and master production schedule.

With the development of the tool, the average operation cost for the assigned production line was reduced by 13%, which means that the cost with the planning tool is \$ 650,49 per ton, also the finished good inventory levels were reduced by 51% as a result of establishing optimum levels, the unprocessed tons were reduced by 100% and the tonnes processed on another machine were reduced by 95% due to the increase in capacity operating the machine with 3 shifts. It was identified that it is more convenient for the company to hire one more shift to pay overtime every day.

Keywords: Production planning, operation cost, production capacity, production line.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.1.1 Variable de medición	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos	1
1.3.1 Variable de medición	1
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 DMAIC	2
1.4.2 SIPOC.....	3
1.4.3 VOC.....	3
1.4.4 Diagrama de Pareto.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. Metodología	4
2.1 Descripción de la situación actual	4
2.1.1 Plan agregado de la producción	4

2.1.2	Plan maestro de producción	7
2.2	Estratificación de datos	7
2.3	Declaración del problema.....	9
2.3.1	Descripción de costos.....	10
2.4	Alcance del proyecto	15
2.4.1	Herramienta SIPOC.....	15
2.4.2	VOC.....	16
2.5	Medición.....	18
2.6	Confiabilidad de los datos	19
2.7	Analizar	20
2.7.1	Diagrama de Pareto.....	20
2.7.2	Diagrama de Ishikawa	21
2.7.3	Matriz de ponderación de causas	25
2.7.4	Plan de verificación de causas.....	28
2.7.5	Verificación de causas	30
2.7.6	Cinco porqués.....	35
2.8	Mejorar	39
2.8.1	Descripción de las soluciones.....	42
2.8.2	Evaluación de las propuestas de mejora	44
2.8.3	Desarrollo de la propuesta de solución seleccionada.....	45
2.9	Implementar	61
2.9.1	Validación del modelo con la situación original.....	62
2.9.2	Optimización de la situación inicial	63
2.9.3	Escenarios planteados.....	65
2.10	Control.....	68
CAPÍTULO 3.....		70

3.	Resultados.....	70
3.1	Indicador de evaluación.....	70
3.1.1	Costo de operación.....	70
3.1.2	Análisis estadísticos de los datos	72
3.1.3	Comparación de niveles de inventario, toneladas sin procesar y toneladas procesadas en otra máquina.....	76
3.1.4	Comparación de capacidad de producción.....	77
3.1.5	Comparación entre el método de pronóstico de la empresa y el propuesto.....	78
3.2	Análisis de rentabilidad.....	78
CAPÍTULO 4.....		81
4.	Conclusiones y recomendaciones	81
4.1	Conclusiones.....	81
4.2	Recomendaciones.....	82
BIBLIOGRAFÍA.....		83
APÉNDICES.....		84

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
DMAIC	Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customer
VOC	Voice Of Customer (Voz del Cliente)
ADI	Average Demand Interval (Intervalo de Demanda Promedio)
MPS	Master Production Schedule (Plan Maestro de Producción)
SKU	Stock-Keeping Unit (Unidad de Mantenimiento de Stock)
MSE	Mean Squared Error (Error Cuadrático Medio)
MAD	Mean Absolute Deviation (Desviación Absoluta Media)
MAPE	Mean Absolute Percentage Error (Porcentaje de Error Absoluto Medio)
TS	Tracking Signal (Señal de Rastreo)
BPT	Bodega de Producto Terminado
SECAP	Servicio Ecuatoriano de Capacitación Profesional
IECE	Instituto Ecuatoriano de Crédito Educativo y Becas
MP	Materia Prima
VAN	Valor Actual Neto
TMAR	Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento
OEE	Overall Equipment Effectiveness (Eficiencia General de los Equipos)

SIMBOLOGÍA

Tn	Toneladas
Hrs	Horas
Mtto	Mantenimiento
PT	Producto terminado
Cv	Coefficiente de variación
TP	Toneladas procesadas
P	Pedidos
TSP	Toneladas sin procesar
TS	Toneladas procesadas en otra máquina
NB	Necesidades brutas
NN	Necesidades netas
Io	Inventario inicial
SS	Stock de seguridad
If	Inventario final
LT	Tamaño de lote
Min	Mínimo
Max	Máximo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Herramienta 4W+2H.....	9
Figura 2.2 Herramienta SIPOC.....	16
Figura 2.3 Herramienta VOC.....	17
Figura 2.4 Información proporcionada vía e-mail.....	19
Figura 2.5 Información proporcionada vía e-mail.....	19
Figura 2.6 Información proporcionada vía e-mail.....	20
Figura 2.7 Diagrama ISHIKAWA de las toneladas no procesadas.....	22
Figura 2.8 Diagrama ISHIKAWA de procesar en otra máquina.....	23
Figura 2.9 Diagrama ISHIKAWA de exceso de inventario en BPT.....	24
Figura 2.10 Matriz de ponderación de causas.....	27
Figura 2.11 Cuadro de categorización de demandad.....	47
Figura 2.12 Variables de decisión que influyen en el plan agregado.....	56
Figura 2.13 Restricciones que influyen en el plan agregado.....	57
Figura 2.14 Costos que influyen en el plan agregado.....	57
Figura 2.15 Plantilla del MPS.....	59
Figura 2.16 Costos de la situación original en la plantilla del plan agregado.....	62
Figura 2.17 Costo promedio de operación por tonelada de la situación original.....	63
Figura 2.18 Solución sugerida por el programa.....	63
Figura 2.19 Costo promedio de operación por tonelada de la solución sugerida.....	64
Figura 2.20 Indicadores compartidos en la solución sugerida.....	64
Figura 2.21 Solución sugerida por el programa con la limitante de trabajar sólo con dos turnos.....	65
Figura 2.22 Costo promedio de operación por tonelada con la limitante de trabajar sólo con dos turnos.....	65
Figura 2.23 Costo promedio de operación por tonelada con un nivel de servicio del 90%.....	66
Figura 2.24 Costo promedio de operación por tonelada con un nivel de servicio del 95%.....	67
Figura 2.25 Costo promedio de operación por tonelada con un incremento del salario.....	68
Figura 3.1 Prueba de hipótesis para diferencias de medias.....	74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2.1 Porcentaje de toneladas procesadas en cada máquina desde enero del 2016 hasta septiembre del 2017	8
Gráfico 2.2 Costos totales mensuales de operación	15
Gráfico 2.3 Porcentaje de participación del costo de operación desde enero a septiembre del 2017	21
Gráfico 2.4 Niveles de Inventario de PT desde enero a septiembre del 2017	31
Gráfico 2.5 Toneladas procesadas en otra máquina desde enero a septiembre del 2017	32
Gráfico 2.6 Niveles de Inventario en BPT desde enero a septiembre del 2017	35
Gráfico 2.7 Descripción de la solución 1	42
Gráfico 2.8 Descripción de la solución 2	42
Gráfico 2.9 Descripción de la solución 3	43
Gráfico 2.10 Descripción de la solución 4	43
Gráfico 2.11 Matriz para evaluar las propuestas de mejora	44
Gráfico 2.12 Ventas históricas desde enero del 2014 hasta septiembre del 2017	45
Gráfico 2.13 Periodicidad de la demanda.....	48
Gráfico 2.14 Curva de Demanda VS. Pronóstico propuesto.....	51
Gráfico 3.1 Prueba de normalidad Anderson-darling de los costos de operaciones de la situación actual.....	72
Gráfico 3.2 Prueba de normalidad Anderson-darling de los costos de operaciones de la herramienta de planeación	73
Gráfico 3.3 Diagrama de cajas de los costos de operaciones de la situación actual y de la herramienta propuesta.....	75
Gráfico 3.4 Comparación entre situación original vs herramienta de planificación	75
Gráfico 3.5 Comparación de la situación actual VS herramienta de planeación del Inventario, toneladas sin procesar y procesadas en otra máquina.....	76
Gráfico 3.6 Comparación de capacidad de la situación actual y la herramienta de planificación.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Pronóstico actual - media móvil de 12 periodos	5
Tabla 2.2 Pronóstico actual - media móvil de 3 periodos	6
Tabla 2.3 Toneladas procesadas por cada una de las máquinas durante el año 2016	7
Tabla 2.4 Toneladas procesadas por cada una de las máquinas durante los meses de enero a septiembre del 2017	8
Tabla 2.5 Porcentaje de toneladas procesadas en cada máquina desde enero del 2016 hasta septiembre del 2017	9
Tabla 2.6 Desglose del costo de mano de obra	10
Tabla 2.7 Cálculo del costo promedio de MP	11
Tabla 2.8 Desglose del costo de transformación de la MP	11
Tabla 2.9 Cálculo del costo de hora extra	12
Tabla 2.10 Cálculo del costo promedio de producción	13
Tabla 2.11 Cálculo del costo de procesar en otra máquina	13
Tabla 2.12 Desglose de los gastos generales	14
Tabla 2.13 Costo promedio de operación desde enero a septiembre del 2017	14
Tabla 2.14 Plan de recolección de datos	18
Tabla 2.15 Porcentaje de participación del costo de operación desde enero a septiembre del 2017	20
Tabla 2.16 Lista de causas potenciales	25
Tabla 2.17 Criterio de ponderación	26
Tabla 2.18 Ponderación de las causas potenciales	26
Tabla 2.19 Plan de verificación de causas	28
Tabla 2.20 Diferentes tamaños de lote de producción	30
Tabla 2.21 Elevado tiempo de armado	31
Tabla 2.22 Porcentaje de error del método actual de pronóstico	33
Tabla 2.23 Índice de rotación	34
Tabla 2.24 Diagrama de los cinco porqués	36
Tabla 2.25 Causas raíces	39
Tabla 2.26 Propuesta de soluciones	40
Tabla 2.27 Medidas estadísticas de la demanda	46

Tabla 2.28 Estadísticas de la regresión.....	49
Tabla 2.29 Coeficientes de nivel y tendencia	49
Tabla 2.30 Pronóstico con el método estático	50
Tabla 2.31 Error del pronóstico con el método estático.....	51
Tabla 2.32 Cálculo de SS por error del pronóstico	52
Tabla 2.33 Cálculo de SS por falta de capacidad de producción	52
Tabla 2.34 Costos utilizados en el plan agregado	53
Tabla 2.35 variables de decisión	54
Tabla 2.36 Datos para la elaboración del MPS	58
Tabla 2.37 Descripción de la solución seleccionada	61
Tabla 2.38 Control de la solución seleccionada	69
Tabla 3.1 Costo de operación de la situación actual	70
Tabla 3.2 Costo de operación con la herramienta de planeación.....	71
Tabla 3.3 Porcentaje de reducción del costo total de operación al implementar la herramienta	71
Tabla 3.4 Porcentaje de reducción de las toneladas de PT, procesadas en otra máquina y sin procesar implementar la herramienta.....	76
Tabla 3.5 Porcentaje de incremento de la capacidad de producción.	77
Tabla 3.6 Comparación del error de pronóstico del método actual y el propuesto	78
Tabla 3.7 Estado de resultados incremental.....	80

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

Actualmente la empresa Aceros S.A desarrolla su pronóstico con datos históricos de ventas de tres y doce meses atrás, promediando las cantidades vendidas dentro de esos meses y escogen el mayor promedio. Este método no contempla el hecho de haber recibido un pedido especial de grandes cantidades por lo que al hacer las corridas de producción en ocasiones se quedan desabastecidos o con sobre stock. Por lo tanto, las cantidades a producir no se planifican adecuadamente y los costos de operación se incrementan.

1.1.1 Variable de medición

Costo de operación: esta variable corresponde al costo que asume la línea de producción por la gestión que debe realizar para satisfacer los requerimientos del mercado.

1.2 Justificación

Se propone diseñar el proceso de la planificación agregada y maestra de la producción que permita tener una idea clara de lo que se tendrá que producir durante los próximos 6 meses para cumplir con la demanda del mercado al menor costo posible de operación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Variable de medición

Reducir el costo promedio de operación en un 5% asociado a una línea de producción mediante la aplicación de técnicas de ingeniería industrial.

1.3.2 Objetivos específicos

- Construir un plan agregado de producción para una línea de elaboración de tubos de acero usando programación lineal.
- Desarrollar un mecanismo óptimo para desagregar el plan agregado en un plan maestro de producción.
- Desarrollar un mecanismo de feedback para actualizar los planes conforme a la disponibilidad de nueva información de la demanda.

1.4 Marco teórico

1.4.1 DMAIC

Al principio de los años 90 la metodología fue desarrollada por Motorola como parte de la filosofía Six Sigma, la cual es una herramienta para mejorar un proceso existente y estandarizado. Los pasos o fases del proceso son 5:

Define (Definir), en esta fase inicial se define los requerimientos críticos para el cliente y objetivos del proyecto y se procede a mapear el flujo del proceso el cual se va a mejorar.

Measure (Medir), una vez definido el problema en esta etapa se mide y evalúa el desempeño actual del proceso para luego identificar los parámetros que voy a medir y proceder a evaluar la confiabilidad de los datos recolectados.

Analyze (Analizar), en esta fase se analiza y determina la causa raíz de los problemas para la cual utilizan herramientas como Ishikawa, diagramas de Pareto, la técnica de los 5 por qué, entre otros; para luego identificar las oportunidades de mejora en el proceso.

Improve (Mejora), una vez determinada la causa raíz en esta etapa se desarrolla soluciones potenciales para mejorar y optimizar el proceso. En esta fase se realiza el desarrollo, implementación y validación de las alternativas de mejora.

Control (Controla), una vez implementada la solución al problema antes definido en esta etapa se debe garantizar que dicha implementación se va a mantener en un largo periodo de tiempo.

1.4.2 SIPOC

SIPOC es un acrónimo de las palabras en inglés de “**S**upplier (proveedores), **I**nput (entradas), **P**rocess (Proceso), **O**utput (salidas), **C**ustomer (clientes)”

Desde el año 2017 esta herramienta se recomienda utilizar dentro de six sigma dado que permite diagramar procesos con más detalles y determinar las variables que impactan, definiendo los límites, el punto de inicio y final.

1.4.3 VOC

El voice of customer es una de las principales herramientas la cual debe de ser utilizada debido a que determina las preferencias y requerimiento que el cliente espera para lograr su satisfacción.

El principal medio para captar mejor la información de las necesidades del cliente es por entrevista, aunque no se descartan otros medios como focus group, encuestas, observaciones, entre otros.

1.4.4 Diagrama de Pareto

Metodología creada por Vilfredo Pareto en 1909 también conocida como diagrama ABC, diagrama 20-80 o curva cerrada, la cual nos permite distinguir en que factor o causa se concentra la gran cantidad de efecto, con el fin de poder optimizar los recursos es decir solo tratar la causa o factor con mayor prioridad.

Es decir, que el 20% de todas las causas de un problema provoca el 80 % de los defectos totales.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Descripción de la situación actual

Para el inicio de este proyecto se recolectó información sobre el proceso que actualmente la compañía realiza para elaborar su plan agregado y maestro de la producción.

La compañía cuenta en su mayoría con proveedores internacionales provenientes de china y el tiempo de reposición de la materia prima oscila entre 3 y 5 meses. Los pedidos son realizados cada 3 meses y el pronóstico viene dado por el promedio de los últimos 3 meses de venta.

A continuación, se detallan los procesos mencionados:

2.1.1 Plan agregado de la producción

La cantidad de materia prima a ordenar viene dada por una ecuación donde se considera el nivel de inventario, las órdenes en firmas planeadas y el pronóstico de materia prima a necesitar para los siguientes 3 meses.

$$MP = \max(P, O) - I$$

MP = cantidad de materia prima a ordenar

P = cantidad de materia prima pronosticada

O = Ordenes de produccion en firme planeadas

I = Cantidad de materia prima en inventario

En la tabla 2.1 se muestra el pronóstico elaborado por la compañía por el método de media móvil de 12 periodos con sus respectivos porcentajes de error.

Tabla 2.1 Pronóstico actual - media móvil de 12 periodos

Período	Demanda (toneladas)	Pronóstico (12 meses)	Absolute Error A_t	MAD_t	% Error	TS_t
1	2125,82					
2	1294,95					
3	1287,44					
4	1206,99					
5	1439,56					
6	1478,23					
7	965,16					
8	1331,40					
9	1471,33					
10	1669,44					
11	1577,38					
12	1355,63					
13	1874,90	1433,61	441,28	33,94	23,54	-13,00
14	1667,64	1412,70	254,94	49,73	15,29	-14,00
15	1523,12	1443,76	79,36	51,71	5,21	-15,00
16	1392,85	1463,40	70,55	52,88	5,07	-13,33
17	1621,96	1478,89	143,07	58,19	8,82	-14,58
18	1710,91	1494,09	216,82	67,00	12,67	-15,89
19	1549,86	1513,48	36,38	65,39	2,35	-16,84
20	1404,08	1562,20	158,12	70,03	11,26	-13,47
21	1962,08	1568,26	393,82	85,45	20,07	-15,65
22	1561,11	1609,15	48,05	83,75	3,08	-15,39
23	1243,16	1600,13	356,97	95,62	28,71	-9,75
24	1196,62	1572,27	375,66	107,29	31,39	-5,19
25	1555,11	1559,02	3,92	103,16	0,25	-5,36
26	1184,34	1532,37	348,04	112,58	29,39	-1,82
27	1808,19	1492,10	316,09	120,11	17,48	-4,33
28	1274,92	1515,85	240,93	124,43	18,90	-2,25
29	1722,58	1506,03	216,55	127,61	12,57	-3,89
30	1680,97	1514,41	166,56	128,90	9,91	-5,14
31	1682,62	1511,92	170,71	130,25	10,15	-6,40
32	2229,26	1522,98	706,28	148,25	31,68	-10,39
33	2108,06	1591,74	516,32	159,41	24,49	-12,90
34	2161,10	1603,91	557,19	171,11	25,78	-15,27
35	1561,28	1653,91	92,63	168,86	5,93	-14,93
36	1798,70	1680,42	118,28	167,46	6,58	-15,76

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 2.2 se muestra el pronóstico elaborado por la compañía por el método de media móvil de 3 periodos con sus respectivos porcentajes de error.

Tabla 2.2 Pronóstico actual - media móvil de 3 periodos

Período	Demanda (toneladas)	Pronóstico (3 meses)	Absolute Error A_t	MAD_t	% Error	TS_t
1	2125,82					
2	1294,95					
3	1287,44					
4	1206,99	1569,40	362,41	90,60	30,03	4,00
5	1439,56	1263,13	176,43	107,77	12,26	1,73
6	1478,23	1311,33	166,91	117,62	11,29	0,16
7	965,16	1374,93	409,77	159,36	42,46	2,69
8	1331,40	1294,32	37,08	144,07	2,79	2,72
9	1471,33	1258,26	213,07	151,74	14,48	1,18
10	1669,44	1255,96	413,48	177,91	24,77	-1,32
11	1577,38	1490,73	86,66	169,62	5,49	-1,90
12	1355,63	1572,72	217,09	173,57	16,01	-0,60
13	1874,90	1534,15	340,74	186,43	18,17	-2,39
14	1667,64	1602,64	65,00	177,76	3,90	-2,87
15	1523,12	1632,72	109,60	173,22	7,20	-2,31
16	1392,85	1688,55	295,71	180,87	21,23	-0,58
17	1621,96	1527,87	94,09	175,77	5,80	-1,13
18	1710,91	1512,64	198,27	177,02	11,59	-2,24
19	1549,86	1575,24	25,38	169,04	1,64	-2,20
20	1404,08	1627,58	223,49	171,76	15,92	-0,86
21	1962,08	1554,95	407,12	182,97	20,75	-3,04
22	1561,11	1638,67	77,57	178,18	4,97	-2,68
23	1243,16	1642,42	399,26	187,79	32,12	-0,42
24	1196,62	1588,78	392,16	196,30	32,77	1,60
25	1555,11	1333,63	221,48	197,31	14,24	0,47
26	1184,34	1331,63	147,29	195,39	12,44	1,23
27	1808,19	1312,02	496,17	206,53	27,44	-1,24
28	1274,92	1515,88	240,96	207,76	18,90	-0,08
29	1722,58	1422,48	300,10	210,94	17,42	-1,50
30	1680,97	1601,90	79,07	206,55	4,70	-1,91
31	1682,62	1559,49	123,13	203,85	7,32	-2,54
32	2229,26	1695,39	533,87	214,17	23,95	-4,91
33	2108,06	1864,28	243,78	215,06	11,56	-6,02
34	2161,10	2006,65	154,45	213,28	7,15	-6,80
35	1561,28	2166,14	604,86	224,47	38,74	-3,77
36	1798,70	1943,48	144,78	222,26	8,05	-3,15

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Plan maestro de producción

La cantidad que se manda a producir está definida por la cantidad de producto final que se mantiene en bodega y el pronóstico de venta.

$$\text{Cantidad a producir} = P - PF$$

$$P = \text{Cantidad pronosticada a vender}$$

$$PF = \text{Cantidad de producto final en bodega}$$

2.2 Estratificación de datos

La estratificación de datos se ha elaborado según el porcentaje de toneladas procesadas en las diferentes máquinas que posee la compañía.

En la tabla 2.3 se muestran las toneladas procesadas por cada máquina durante el año 2016 y de enero a septiembre del 2017.

Tabla 2.3 Toneladas procesadas por cada una de las máquinas durante el año 2016

Maquinas	2016											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Tubera Bonak	1458	1550	1935	2239	1724	2233	1405	2249	2007	1223	1049	2091
Perfiladora Ipac	1701	834	950	405	2424	1573	1033	1201	1747	720	851	1154
Perfiladora Bradbury	1637	1393	366	1021	1317	935	806	1526	1468	1004	1225	1355
Tubera Otto Mill 4		80	825	773	838	728	1938	1313	2310	853	569	2396
Tubera Otto Mill 2	619	904	533	445	745	1132	857	1271	1067	735	810	642
Perfiladora Mep	623	667	332	329	711	548	406	1087	299	772	849	986
Tubera 2Ku	1099	1120	1326	1133	1208	1443	1135	1170	1477	1191	671	1043
Tubera 1Ku	192	203	165	142	168	340	251	334	266	302	262	469
Tubera Kmill		13	45	95	38	136	275	137	17	5	21	1
Tubera Bradbury			155			325			133	115		

Fuente: Base de datos de toneladas procesadas

Tabla 2.4 Toneladas procesadas por cada una de las máquinas durante los meses de enero a septiembre del 2017

Maquinas	2017									Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	
Tubera Bonak	2690	1547	1983	1761	2184	2322	2070	1674	2503	39897
Perfiladora Ipac	2110	1417	1583	892	1344	1355	955	2046	2070	28366
Perfiladora Bradbury	1752	1158	1318	739	669	1444	734	1336	1623	24826
Tubera Otto Mill 4	1950	1435	2066	1528	1348	1522	2653	2508	2407	30039
Tubera Otto Mill 2	128	589	989	807	1019	1064	776	827	788	16746
Perfiladora Mep	960	451	822	595	267	586	298	961	629	13177
Tubera 2Ku	1559	853	1020	1309	1227	1454	1222	1465	1022	25145
Tubera 1Ku	618	404	321	291	318	209	335	195	275	6060
Tubera Kmill	2	16	205	130	105	170	120	82	68	1684
Tubera Bradbury	228	114		408	138	28	186			1830
Suma total									187770	

Fuente: Base de datos de toneladas procesadas

En el gráfico 2.1 y tabla 2.5 se puede observar que las líneas de producción con mayores toneladas procesadas son las que corresponde a las máquinas Tubera Bonak con 21.25% y Tubera Otto Mill 4 con 16%

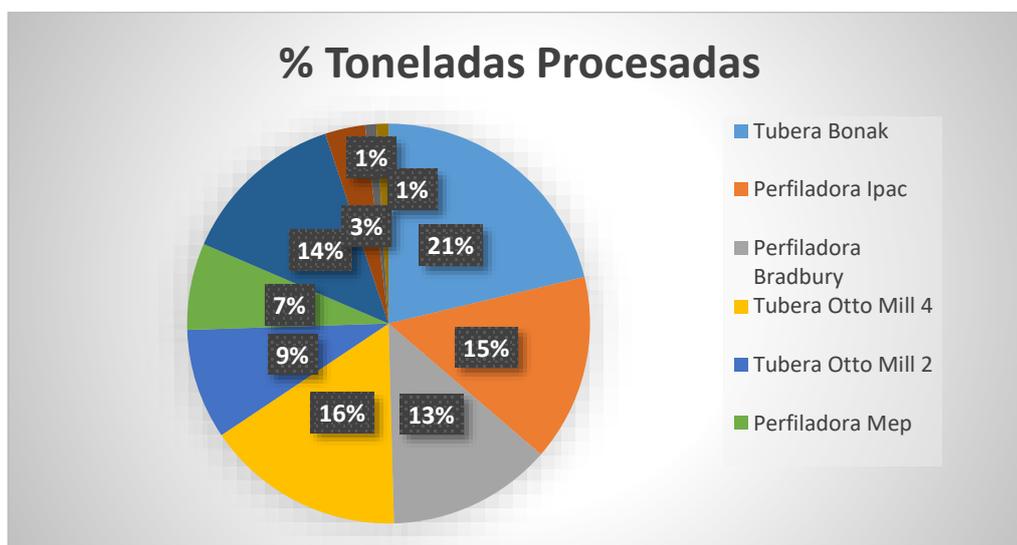


Gráfico 2.1 Porcentaje de toneladas procesadas en cada máquina desde enero del 2016 hasta septiembre del 2017

Fuente: Base de datos de toneladas procesadas

Tabla 2.5 Porcentaje de toneladas procesadas en cada máquina desde enero del 2016 hasta septiembre del 2017

Maquinas	% de Toneladas procesadas
Tubera Bonak	21,25%
Tubera Otto Mill 4	16,00%
Perfiladora Ipac	15,11%
Tubera 2Ku	13,39%
Perfiladora Bradbury	13,22%
Tubera Otto Mill 2	8,92%
Perfiladora Mep	7,02%
Tubera 1Ku	3,23%
Tubera Bradbury	0,97%
Tubera Kmill	0,90%

Fuente: Base de datos de toneladas procesadas

Se seleccionó la línea de producción que corresponde a la Tubera Otto Mill 4 debido a que es la segunda máquina con mayor porcentaje de toneladas procesadas y además procesa más líneas madres, en total 18.

2.3 Declaración del problema

Con ayuda de las preguntas elaboradas en la herramienta 4w+2h mostrada en la figura 2.1 se define el problema que tiene la compañía.

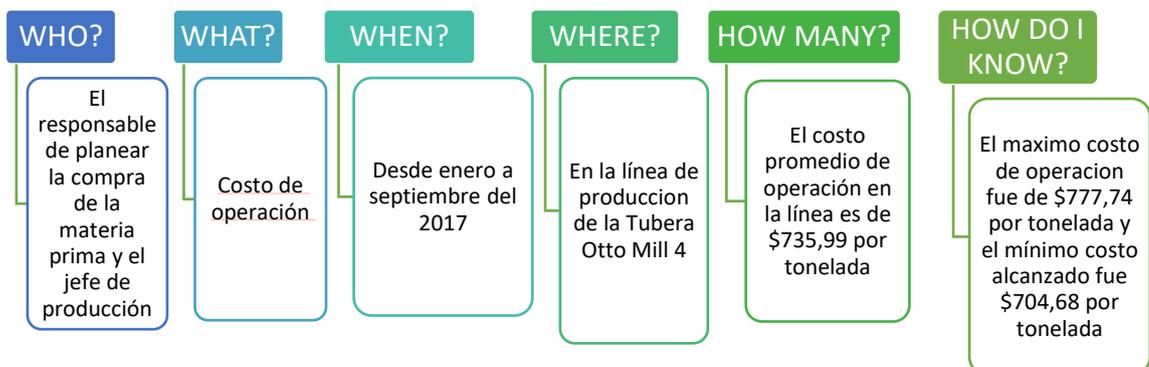


Figura 2.1 Herramienta 4W+2H

Fuente: Elaboración propia

Como resultado tenemos que: el costo de operación por tonelada en la línea de producción de la tubera Otto Mill 4 varió entre \$777,74 y \$704,68 durante los meses de enero a septiembre del año 2017, pero el costo promedio de operación alcanzado fue de \$735,99 sin embargo, la empresa desea reducirlo en un 5%.

2.3.1 Descripción de costos

Los costos que componen el costo de operación de la línea y que se utilizaron para definir el problema son: costos de mano de obra, materia prima, transformación de la materia prima, horas extras, mantener inventario de producto terminado, órdenes no procesadas, procesar en otra máquina y gastos generales.

2.3.1.1 Costos de mano de obra

Los costos de mano de obra son los correspondientes a los salarios de un operador, dos ayudantes y dos embaladores que operan la máquina 4KU en un turno.

En la tabla 2.6 se observan los rubros que componen el costo de mano de obra.

Tabla 2.6 Desglose del costo de mano de obra

Componentes del costo de mano de obra	\$ / Mes
Sueldos	\$ 1.574,30
Vacaciones	\$ 607,01
Incentivos	\$ 499,30
Bonificaciones	\$ 153,94
Aporte patronal 11,15%	\$ 330,98
Décimo tercer sueldo	\$ 247,36
Fondo de reserva	\$ 154,93
Rancho (alimentación)	\$ 153,66
Décimo cuarto sueldo	\$ 134,12
Jubilaciones	\$ 93,48
Indemnizaciones	\$ 30,15
IECE 0,5%	\$ 14,85
SECAP 0,5%	\$ 14,85
Costo total de mano de obra (2 turnos)	\$ 3.323,30
Costo total de mano de obra por turno	\$ 1.661,65

Fuente: Costos brindado por el departamento de producción

2.3.1.2 Costo de materia prima

La materia prima se clasifica en laminado frio, laminado caliente y galvanizado, en la tabla 2.7 se observan sus costos y porcentaje de participación en la demanda respectivamente para obtener el costo de materia prima promedio.

Tabla 2.7 Cálculo del costo promedio de MP

Tipo de material	Participación en la demanda	\$/tonelada	Precio de MP (\$ /Ton)
LC	83,21%	590	490,96
LF	4,41%	710	31,34
GB	12,37%	750	92,80
Costo promedio de MP			615,09

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.3 Costo de transformar la materia prima

El costo de transformación está compuesto por la electricidad, lubricantes, combustibles y agua, utilizados durante el proceso de transformación de la materia prima en producto terminado. En la tabla 2.8 se observan los costos mencionados.

Tabla 2.8 Desglose del costo de transformación de la MP

Componentes del costo de transformar la MP	\$/mes
Electricidad	\$ 8.216,90
Combustibles y lubricantes	\$ 496,78
Agua	\$ 231,48
Total	\$ 8.770,15
Toneladas producidas	2.004,51
Costo de producción por tonelada	\$ 4,61

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.4 Costo de horas extras

La compañía a la semana hace 12 horas extras por turno de lunes a sábado, la hora extra tiene un costo de \$2 en promedio. Se procesan 8.84 toneladas por hora dando lugar a que el costo promedio de hora extra por tonelada sea de \$0,23 como se observa en la tabla 2.9.

Tabla 2.9 Cálculo del costo de hora extra

Velocidad teórica de la máquina (Ton/hora)	11,30
Rendimiento promedio de la máquina	78%
Velocidad real de la máquina	8,81
Costos	
Costo de hora extra	\$ 2,00
Costo de hora extra por tonelada	\$ 0,23

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.5 Costo de inventario

El costo de inventario es el asociado al almacenamiento y mantenimiento de inventario y su cálculo se puede observar a continuación:

$$\text{Costo de mantener inventario} = \text{Tasa de almacenamiento en porcentaje} * \text{Precio}$$

$$\text{Costo de mantener inventario} = 15\% * \$ 615,09$$

$$\text{Costo de mantener inventario por tonelada anual} = \$ 92,26$$

$$\text{Costo de mantener inventario por tonelada mensual} = \$ 7,68$$

2.3.1.6 Costo de órdenes no procesadas

El costo de órdenes no procesadas es considerado como el margen de contribución, el cual resulta de la diferencia entre el precio de venta y el costo de producción. Este costo fue calculado con los costos que se observan en la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Cálculo del costo promedio de producción

Costo de producción	
Materia prima (\$/ton)	615,09
Transformación de MP (\$/ton)	4,61
Costos promedio de producción (\$/ton)	619,70

Fuente: Elaboración propia

Margen de contribución = Precio de venta – Costo de producción

Margen de contribución = \$ 830,06 – \$ 619,70

Margen de contribución = \$ 210,36

2.3.1.7 Costo de procesar en otra máquina

Se define como costo de procesar en otra máquina a la acción de enviar a producir a otras máquinas que se encuentran dentro de la misma planta debido a que la máquina oficial asignada para la fabricación de los ítems no posee la suficiente capacidad para procesarlos.

El costo de procesar en otra máquina es la suma del costo de materia prima, el costo de transformarla y costo de mano de obra como se muestra en la tabla 2.11.

Tabla 2.11 Cálculo del costo de procesar en otra máquina

Costo de procesar en otra máquina	
Costo promedio de materia prima (\$/ton)	615,09
Costo promedio de transformación MP (\$/ton)	4,61
Costo promedio de mano de obra (\$/ton)	1,84
Costo promedio total de la tonelada procesada en otra máquina (\$/ton)	621,54

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.8 Gastos generales

Los rubros que se consideran dentro de gastos generales se muestran en la tabla 2.12.

Tabla 2.12 Desglose de los gastos generales

Gastos generales	(\$ / Mes)
Materiales y repuestos	\$ 11.690,19
Reparaciones y mantenimiento, planta/equipo	\$ 320,95
Seguros generales	\$ 1.148,78
Seguridad industrial	\$ 238,89
Suministro de oficina	\$ 22,72
Útiles de limpieza	\$ 20,20
Uniformes al personal	\$ 616,60
Depreciación	\$ 22.350,20
Gasto total	\$ 35.755,30

Fuente: Elaboración propia

2.3.1.9 Costo total de operación

Para el análisis del costo total de operación en la línea de la máquina 4KU se consideraron los costos de mano de obra, materia prima, transformar la materia prima, horas extras, mantener inventario, órdenes no procesadas, gastos generales y procesar en otra máquina.

Tabla 2.13 Costo promedio de operación desde enero a septiembre del 2017

Componentes del costo de operación	\$/mes
Mano de obra	\$ 3.329,60
Materia prima	\$ 1.190.335,84
Transformación de MP	\$ 8.916,46
Horas extras	\$ 1.016,60
Inventario	\$ 16.200,57
Procesar en otra máquina	\$ 185.357,29
Órdenes no procesadas	\$ 190.818,16
Gastos generales	\$ 35.755,30
Costo total	\$ 1.631.729,81
Toneladas procesadas	\$ 2.233,44
Costo Total de operación	\$ 735,99

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 2.2 se observa que en marzo se obtuvo el costo más bajo y en abril el costo más alto.

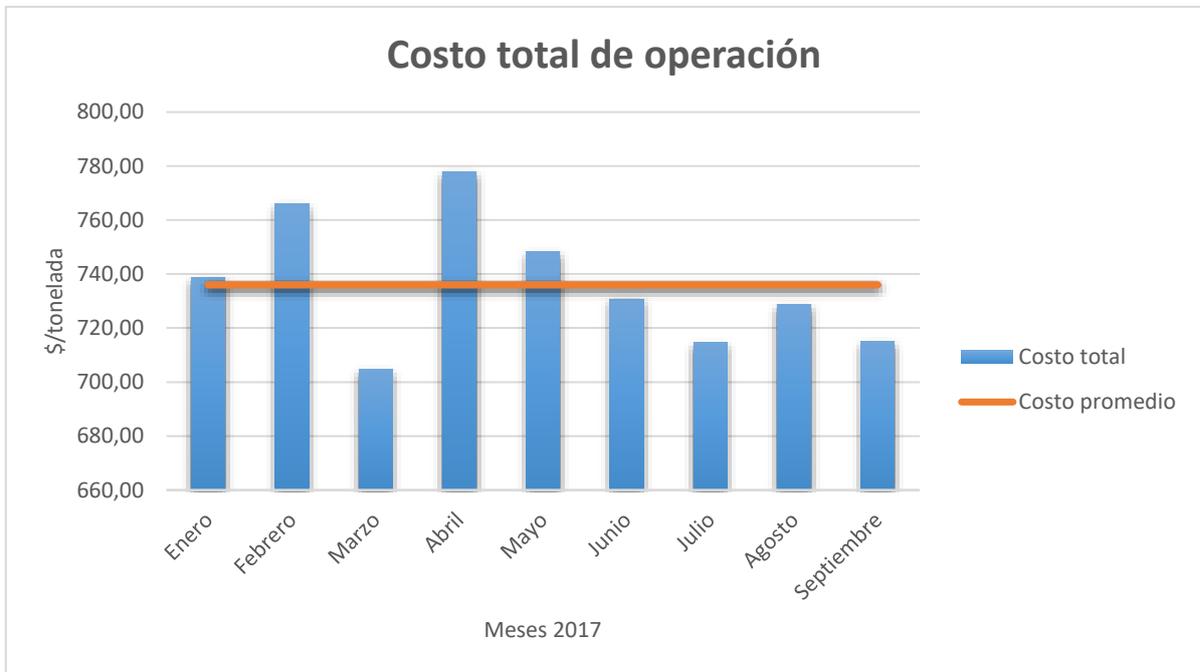


Gráfico 2.2 Costos totales mensuales de operación

Fuente: Elaboración propia

2.4 Alcance del proyecto

Las herramientas SIPOC y VOC detalladas a continuación determinan el alcance del proyecto.

2.4.1 Herramienta SIPOC

En la figura 2.2 se identifican los proveedores, clientes, entradas y salidas del proceso de planificación agregada y maestra de la producción.

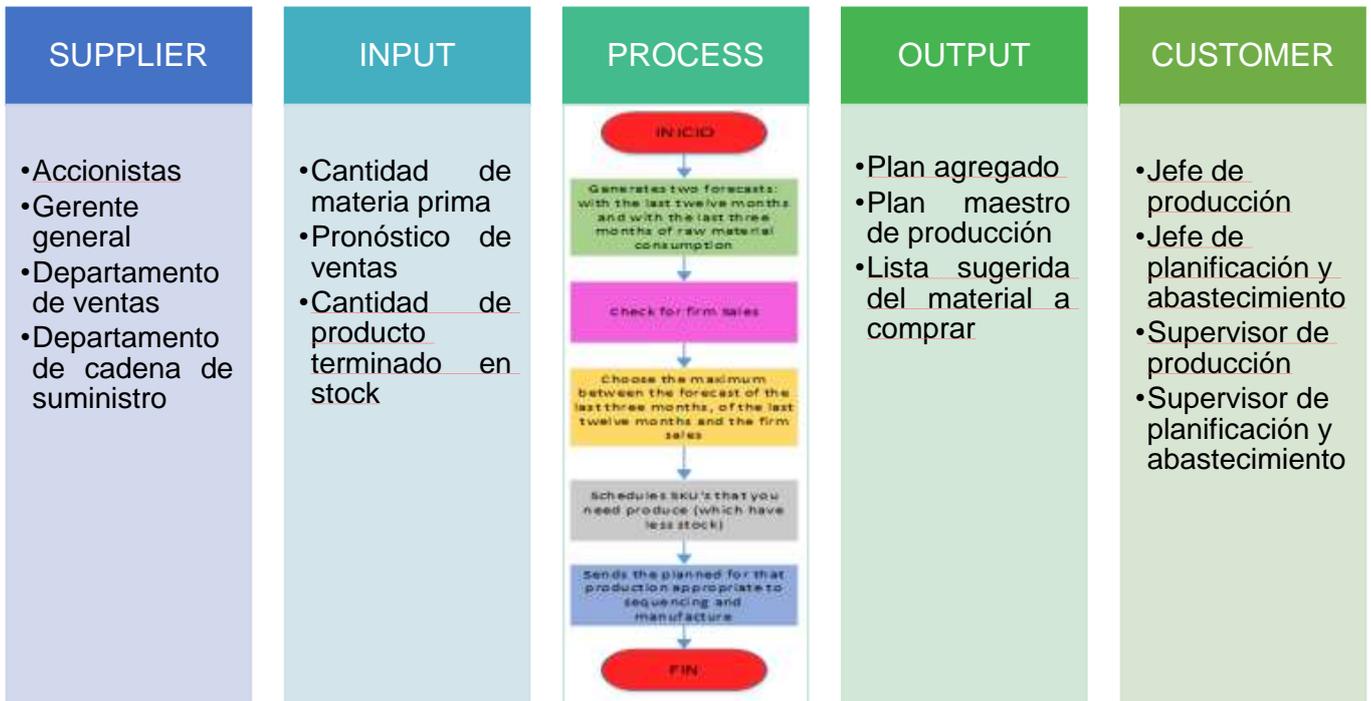


Figura 2.2 Herramienta SIPOC

Fuente: Elaboración propia

Con los clientes de este proceso identificados se procede a realizar el VOC para conocer sus opiniones.

2.4.2 VOC

Para la elaboración del VOC se realizaron entrevistas a los jefes de las áreas beneficiadas, producción y abastecimiento. De las entrevistas se obtuvo la información redactada en la figura 2.3.

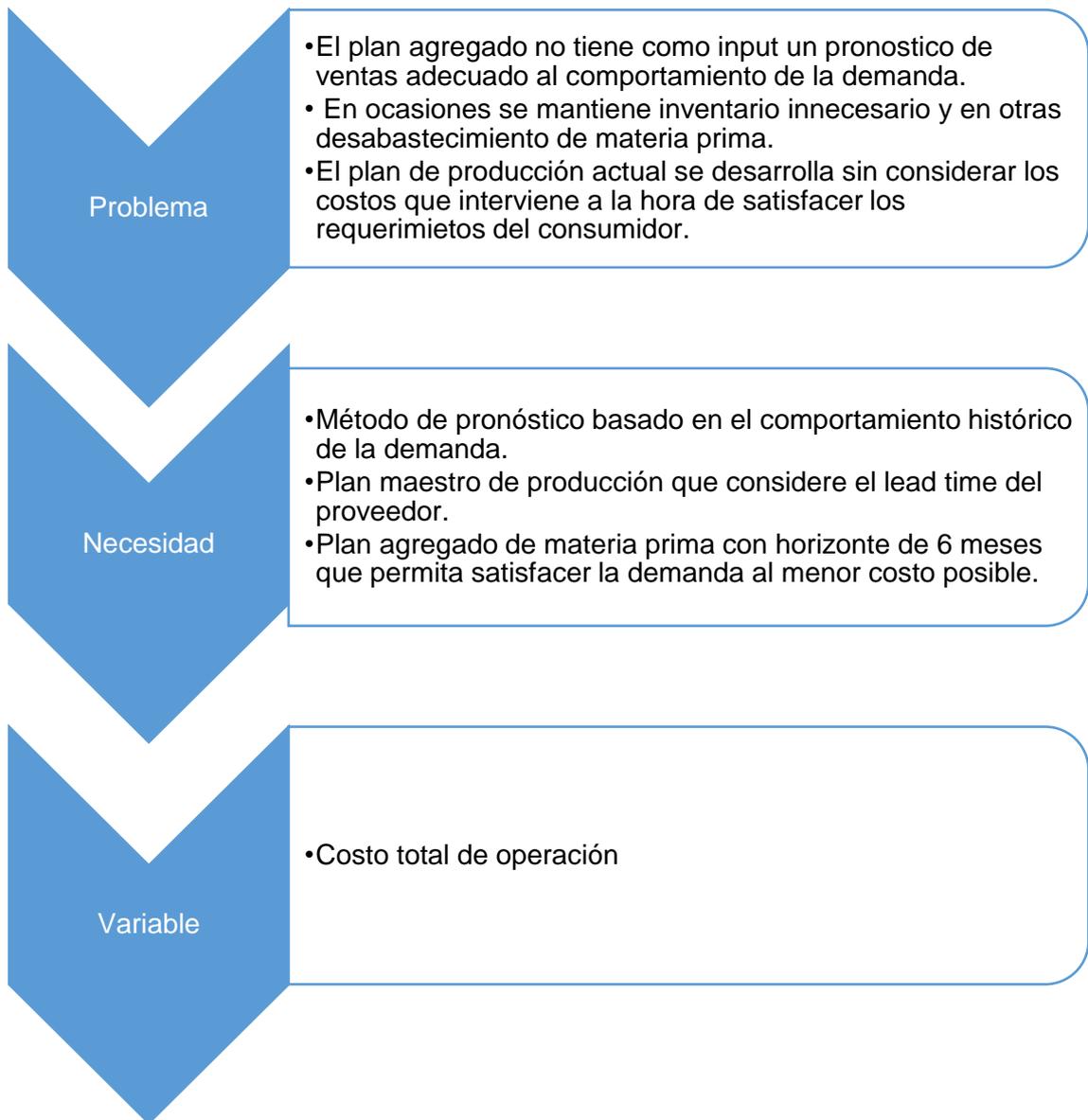


Figura 2.3 Herramienta VOC

Fuente: Elaboración propia

Definido el problema y con ayuda de las herramientas SIPOC y VOC, el alcance de este proyecto comprende desde elaborar un pronóstico de ventas basado en los datos históricos proporcionados por la empresa, hasta la generación de un plan agregado de materia prima que optimice los costos de operación, tomando en cuenta todos los factores que intervienen en la línea de producción para luego desagregarlo y generar un plan maestro de producción que satisfaga los requerimientos del consumidor.

2.5 Medición

La variable de medición antes ya mencionada es el costo de operación en la línea de producción de la tubera Otto Mill 4, para ésta, se ha establecido un plan de recolección de datos (ver tabla 2.14).

Tabla 2.14 Plan de recolección de datos

Información por recolectada	Unidad	Tipo de data	Cómo es medido	Condiciones		Lugar de registro	Uso futuro
Ventas del producto final	Tn/mes	Cuantitativo	Contando las toneladas vendidas a cada cliente	¿Qué?	Toneladas vendidas	Registros en base de datos	Pronóstico de ventas
				¿Dónde?	Departamento de ventas		
				¿Cuándo?	Mensual		
Volumen de producción	Tn/mes	Cuantitativo	Contando las toneladas procesadas en la línea	¿Qué?	Toneladas procesadas	Plan de producción	Calcular la fuerza laboral
				¿Dónde?	Producción		
				¿Cuándo?	Mensual		
Nivel de inventario	Tn/mes	Cuantitativo	Contando las toneladas en bodega	¿Qué?	Toneladas de materia prima	Base de datos de inventario	Calcular el costo de mantener inventario
				¿Dónde?	Bodega		
				¿Cuándo?	Mensual		
Tiempos unitarios de proceso de productos de la línea	Tn/hora	Cuantitativo	Toneladas asociadas a cada producto	¿Qué?	Tiempo de producción	Registros en base de datos	Calcular la capacidad de producción
				¿Dónde?	Producción		
				¿Cuándo?	Mensual		
Tiempos promedio de armado al cambiar de producto	Hrs/set up	Cuantitativo	Cantidad realizado de cada producto	¿Qué?	Tiempo de cada set up	Registros en base de datos	Calcular la capacidad de producción
				¿Dónde?	En la máquina		
				¿Cuándo?	Mensual		

Fuente: Elaboración propia

2.6 Confiabilidad de los datos

Los datos fueron requeridos directamente al jefe de producción por medio de entrevistas personales en donde se indicaba el por qué y para qué los datos se utilizarían, luego de la mencionada conversación estos fueron solicitados a los respectivos departamentos y enviados vía correo electrónico.

La empresa objeto del estudio, proporcionó una data histórica, para el caso de la demanda de 3 años, y para los demás, del último año.

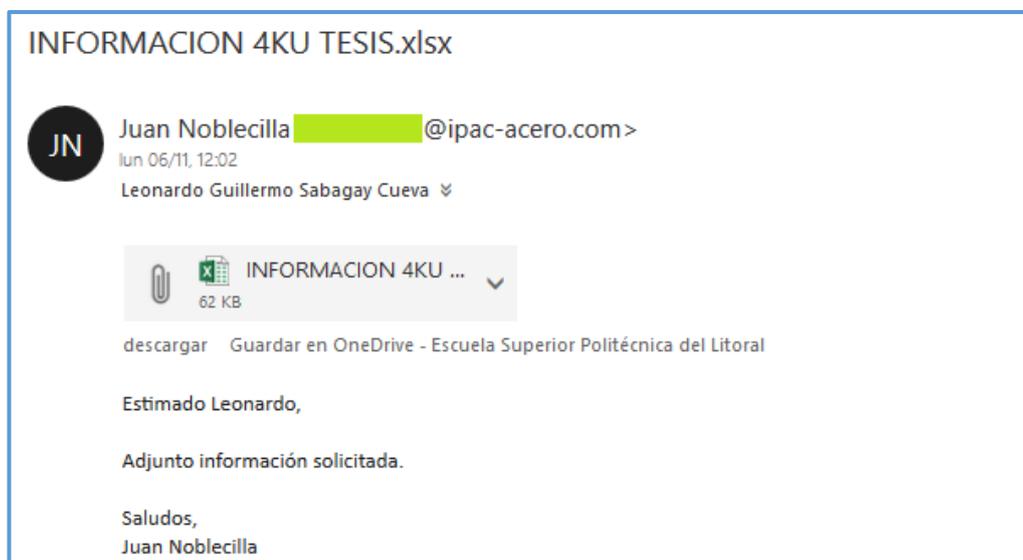


Figura 2.4 Información proporcionada vía e-mail

Fuente: Elaboración propia



Figura 2.5 Información proporcionada vía e-mail

Fuente: Elaboración propia



Figura 2.6 Información proporcionada vía e-mail

Fuente: Elaboración propia

2.7 Analizar

Para el análisis de la situación se utilizaron las herramientas: diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa, Matriz de ponderación de causas y análisis de 5 porqués.

2.7.1 Diagrama de Pareto

Al analizar los costos que están asociados en la operación de la máquina 4KU se visualiza en la tabla 2.15 los costos más influyentes. Para este análisis se omitieron los costos de materia prima, gastos generales y mano de obra porque no varían con las toneladas procesadas.

Tabla 2.15 Porcentaje de participación del costo de operación desde enero a septiembre del 2017

Porcentaje de participación del costo de operación Enero - Septiembre 2017	
Costo de toneladas no procesadas	64,84%
Costo de procesar en otra máquina	29,19%
Costo de Inventario	5,63%
Costo de horas extras	0,35%

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 2.3, se observa que el costo de toneladas no procesadas es el costo que más influye en el costo de operación, seguido del costo de procesar en otra máquina y costo de mantener inventario.

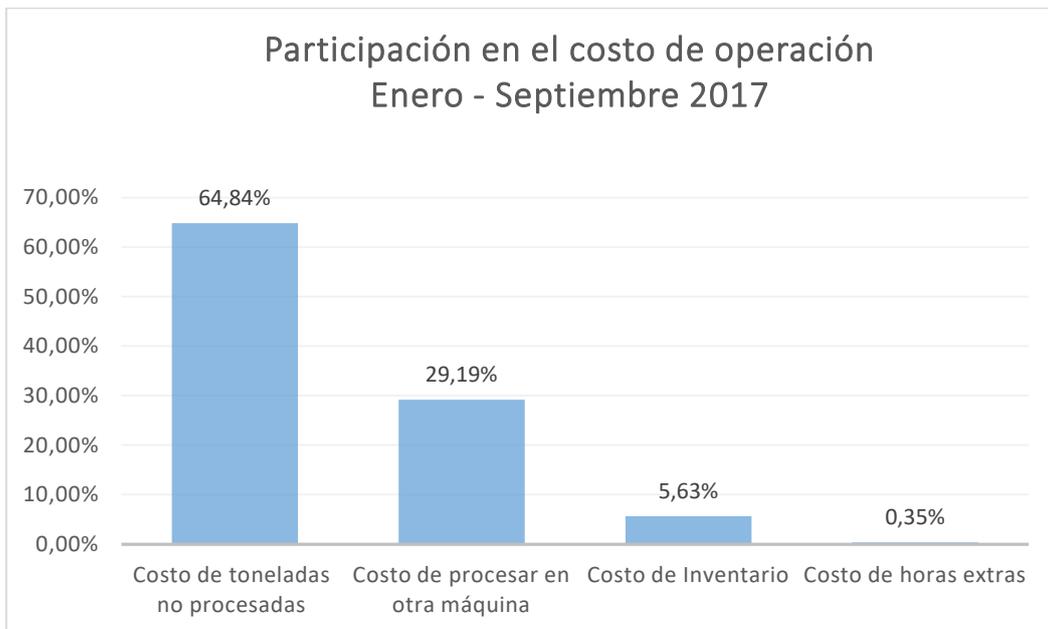


Gráfico 2.3 Porcentaje de participación del costo de operación desde enero a septiembre del 2017

Fuente: Elaboración propia

2.7.2 Diagrama de Ishikawa

Del diagrama de Pareto se obtuvo que los costos que más participan en el costo total de operación, son los costos de toneladas no procesadas, costos de procesar en otra máquina y costos de inventario. Por esta razón los diagramas de Ishikawa presentes en las figuras 2.7, 2.8 y 2.9 fueron realizados en torno a estos problemas para detectar el origen del problema.

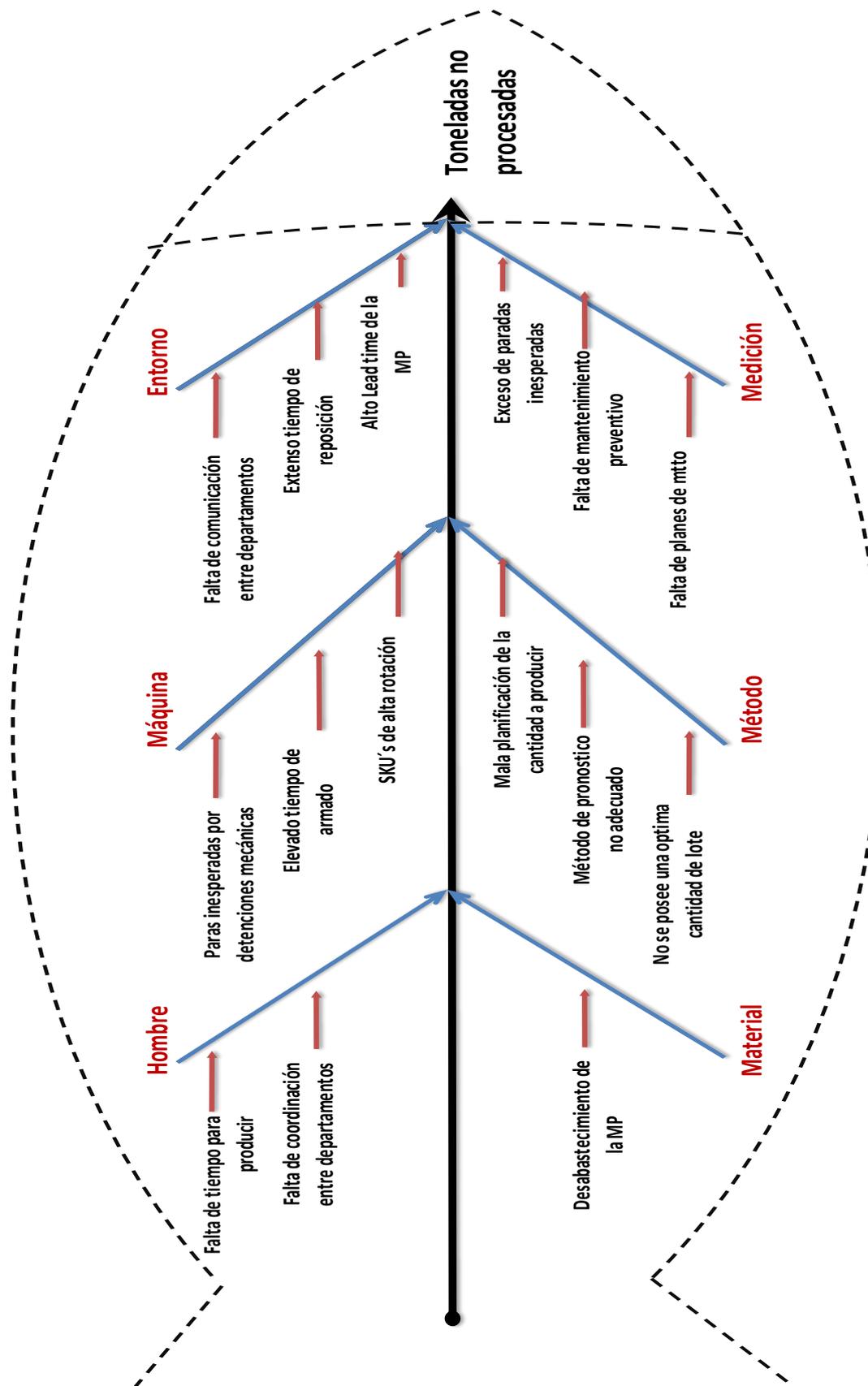


Figura 2.7 Diagrama ISHIKAWA de las toneladas no procesadas

Fuente: Elaboración propia

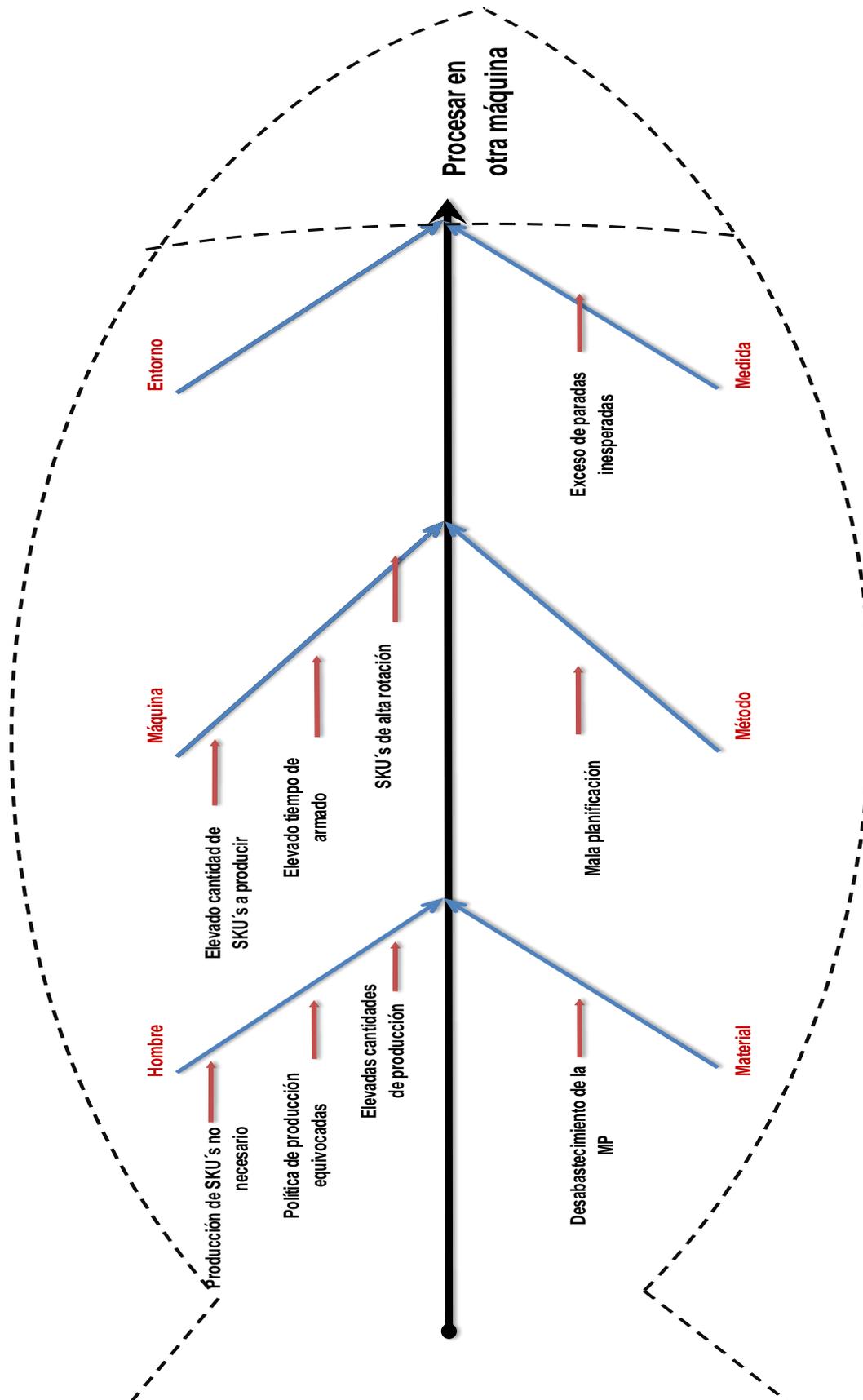


Figura 2.8 Diagrama ISHIKAWA de procesar en otra máquina

Fuente: Elaboración propia

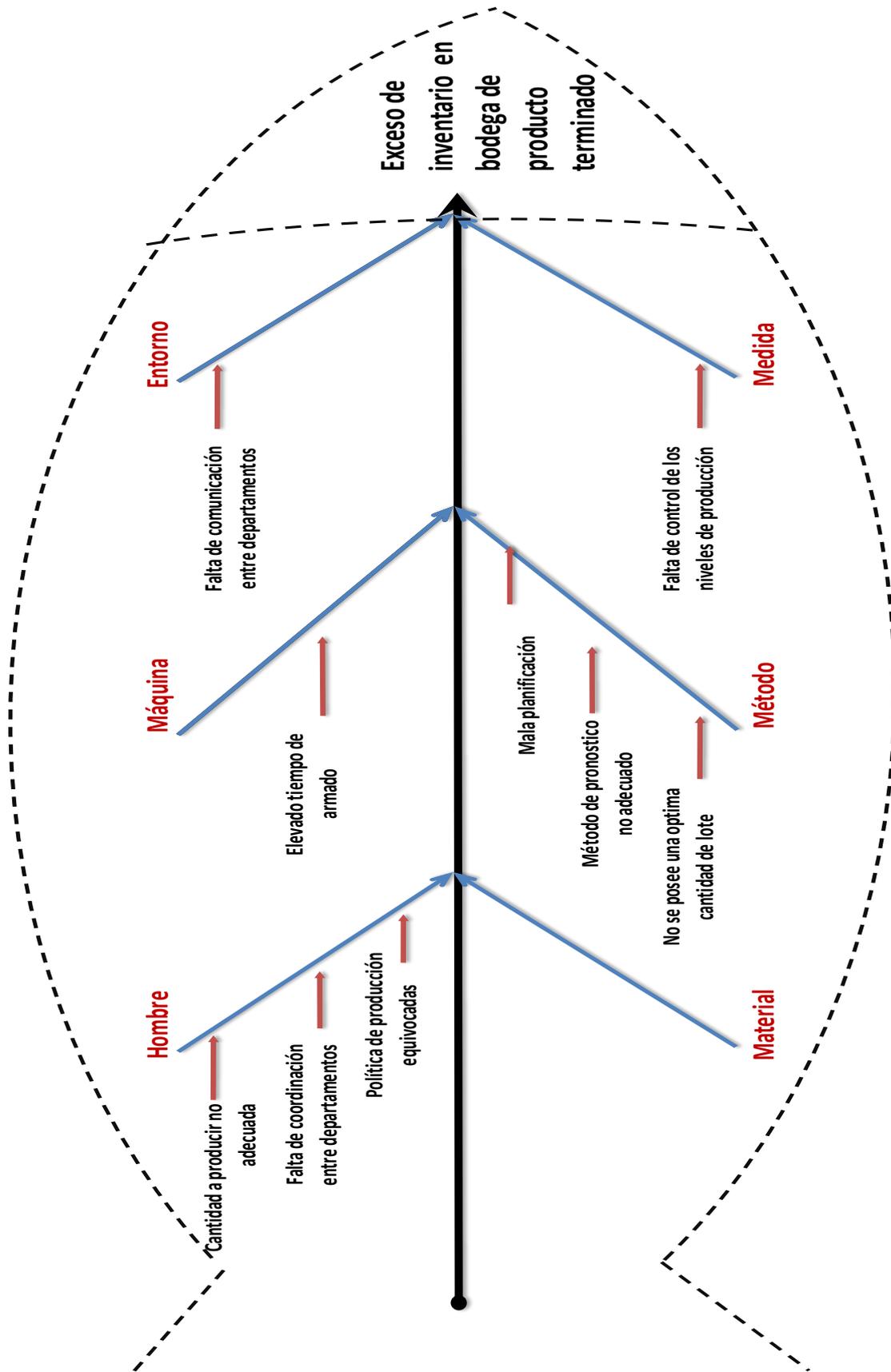


Figura 2.9 Diagrama ISHIKAWA de exceso de inventario en BPT

Fuente: Elaboración propia

2.7.3 Matriz de ponderación de causas

Con ayuda de las entrevistas realizadas se obtuvieron en total 18 causas relacionadas a los problemas de exceso de inventario, toneladas procesadas en otra máquina y toneladas no procesadas, mostradas en la tabla 2.16.

Tabla 2.16 Lista de causas potenciales

No.	Causa
1	Falta de tiempo para producir (no hay capacidad)
2	Falta de coordinación entre departamentos
3	Paras inesperadas por detenciones mecánicas
4	Elevado tiempo de armado
5	Demasiado SKU's de alta rotación en la misma línea
6	Extenso tiempo de reposición del producto
7	Alto Lead time de la materia prima
8	Desabastecimiento de materia prima
9	Mala planificación de la cantidad a producir
10	Método de pronóstico no adecuado
11	No se posee una óptima cantidad de lote
12	Exceso de paradas inesperadas
13	Falta de mantenimiento preventivo
14	Falta de planes de mto
15	Política de producción equivocadas
16	Falta de control de los niveles de producción
17	Producción de SKU's no necesario
18	Elevada cantidad de SKU's a producir

Fuente: Elaboración propia

Para la realización de las ponderaciones de las causas antes mencionadas, se solicitó al personal encargado de las áreas de producción y logística clasifiquen las causas potenciales con el criterio de la tabla 2.17.

Los participantes fueron:

- Jefe de producción
- Planeador de producción
- Jefe de abastecimiento
- Supervisor de abastecimiento

Tabla 2.17 Criterio de ponderación

Relación	Puntaje
Ninguna	0
Baja	1
Media	3
Alta	9

Fuente: Elaboración propia

El valor final de cada causa fue obtenido con la moda de las calificaciones asignadas por los participantes, como se observa en la tabla 2.18.

Tabla 2.18 Ponderación de las causas potenciales

No.	Causa	Participantes				Valor
		1	2	3	4	
1	Falta de tiempo para producir (no hay capacidad)	1	0	0	9	0
2	Falta de coordinación entre departamentos	1	3	9	3	3
3	Paras inesperadas por detenciones mecánicas	3	3	1	3	3
4	Elevado tiempo de armado	3	3	9	9	3
5	Demasiado SKU's de alta rotación en la misma línea	1	0	1	3	1
6	Extenso tiempo de reposición del producto	1	9	3	3	3
7	Alto Lead time de la materia prima	1	1	3	3	1
8	Desabastecimiento de materia prima	3	1	1	1	1
9	Mala planificación de la cantidad a producir	3	9	9	3	3
10	Método de pronóstico no adecuado	9	9	9	1	9
11	No se posee una óptima cantidad de lote	1	3	3	3	3

Continuación tabla 2.18

No.	Causa	1	2	3	4	Valor
12	Exceso de paradas inesperadas	3	3	1	9	3
13	Falta de mantenimiento preventivo	1	3	1	9	1
14	Falta de planes de mto	1	1	1	3	1
15	Política de producción equivocadas	0	3	3	1	3
16	Falta de control de los niveles de producción	1	3	3	3	3
17	Producción de SKU's no necesario	3	9	9	1	9
18	Elevada cantidad de SKU's a producir	3	3	3	9	3

Fuente: Elaboración propia

Después de dar valor a cada causa potencial y de definir el nivel de control se realizó la matriz de ponderación de causas mostrada en la figura 2.10, la cual asocia el impacto con el control.

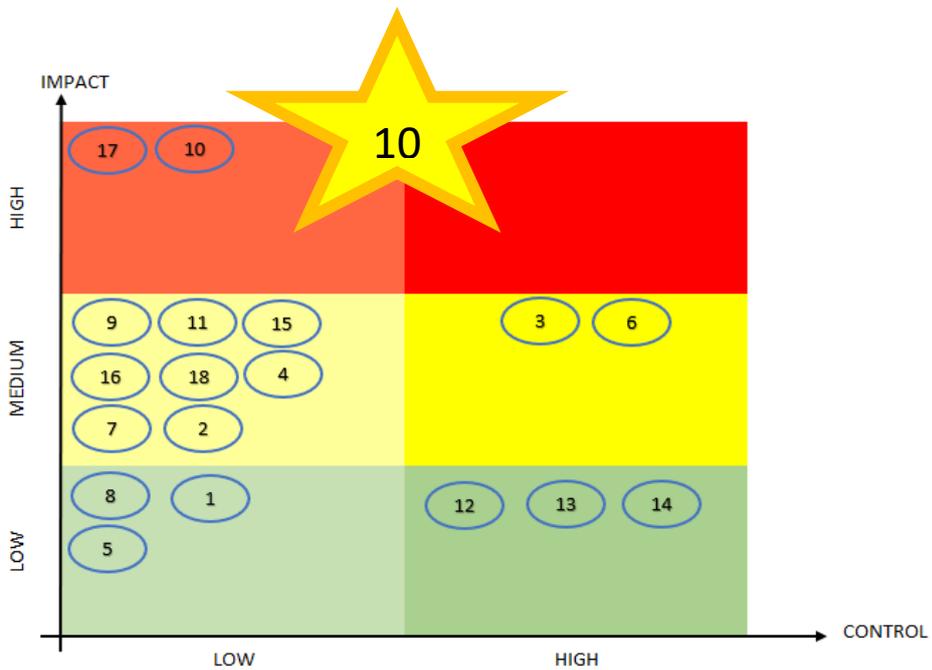


Figura 2.10 Matriz de ponderación de causas

Fuente: Elaboración propia

El proyecto se enfocará en 10 de las 18 causas, las cuales son de medio y alto impacto e implican bajo control.

2.7.4 Plan de verificación de causas

Con las causas identificadas se realizó un plan de verificación de causas mostrado en la tabla 2.19.

Tabla 2.19 Plan de verificación de causas

No.	Causa	Valor	Control	Teoría	¿Cómo se puede verificar?
2	Falta de coordinación entre departamentos	3	BAJO	Las cantidades por producir sean modificadas por departamento ocasionando diferentes tamaños de lote de producción.	Volumen de producción mensual por ítem
4	Elevado tiempo de armado	3	BAJO	Máquina parada	Porcentaje de paradas por preparación
7	Alto Lead time de la materia prima	1	BAJO	Almacenar más producto terminado para cubrir la demanda durante el tiempo de reposición del proveedor	Entrevista
9	Mala planificación de la cantidad a producir	3	BAJO	Toneladas no procesadas y altos niveles de inventario de producto terminado.	Niveles de inventario de producto terminado y toneladas no procesadas

No.	Causa	Valor	Control	Teoría	¿Cómo se puede verificar?
10	Método de pronóstico no adecuado	9	BAJO	Las corridas de producción quedan cortas ocasionando toneladas sin procesar o quedan largas incrementando los niveles de inventario de producto terminado	Porcentaje de error del pronóstico
11	No se posee una óptima cantidad de lote	3	BAJO	Grandes lotes de producción para ítems de baja rotación.	Rotación de ítems y volumen de producción
15	Política de producción equivocadas	3	BAJO	Elevado volumen de producción para ítems de baja rotación.	Rotación de ítems y volumen de producción
16	Falta de control de los niveles de producción	3	BAJO	Incremento en los niveles de inventario de producto terminado	Nivel de inventario de producto terminado
17	Producción de SKU's no necesario	9	BAJO	Producción de ítems de baja rotación	Rotación de ítems y volumen de producción
18	Elevada cantidad de SKU's a producir	3	BAJO	Incremento de horas extras	Toneladas procesadas en la máquina 4KU

Fuente: Elaboración propia

2.7.5 Verificación de causas

Las causas se verificaron por medio de los datos proporcionados y entrevistas con el personal involucrado.

2.7.5.1 Verificación con datos

Causa 2: Falta de coordinación entre departamentos.

Las toneladas por ítems producidas mensualmente se observan en la tabla 2.20, aquellas son modificadas por departamento (producción y abastecimiento) ocasionando diferentes tamaños de lote de producción.

Tabla 2.20 Diferentes tamaños de lote de producción

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
ECN0404015	1800	0	15699	0	0	0	0	17397	
AC07507520	8772	7279	888	334	6009	0	11230	0	13664
ECN0505015	12072			5841			14877		9273
ECN0505020	4088	6918	0	4544	0	0	12083	0	8258
ECN0404020	6519	0	4901	0	0	3736	0	7247	0
ETN0804020	4094	0	3882	0	0	10033	0	8783	0
ETN1005020	2944	0	7177	0	9731	0	0	5993	6434
ERN0020020	0	0	6800	0	0	2370	0	7280	0
ETNC105020	3560	0	2200	0	3040	0	680	2720	0
ECN0505030	0	3449	0	2163	0	0	5588	0	2859

Fuente: Elaboración propia

Causa 4: Elevado tiempo de armado

En la tabla 2.21 se observa que la máquina ha llegado a estar parada hasta 42,25 minutos por armado, cuando el tiempo regular de armado es 15 minutos.

Tabla 2.21 Elevado tiempo de armado

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
PR	Paradas de Preparación	37,2	38,3	37,1	39,7	19,8	33,75	40,4	31	55
ARM	Armado	30,2	26,5	27	24,5	14,7	21,25	28,1	21,2	42,25
CAL	Calibración	7	11,8	10,1	15,2	5,2	12,5	12,3	9,8	12,75

Fuente: Elaboración propia

Causa 9: Mala planificación de la cantidad a producir

Causa 16: Falta de control de los niveles de producción

Las causas 9 y 16 se verificaron por los niveles de inventario que se mantienen en la bodega de producto terminado (gráfico 2.4) y las toneladas que no se pudieron procesar (gráfico 2.5) como resultado de la falta de control y error a la hora de planificar la producción.



Gráfico 2.4 Niveles de Inventario de PT desde enero a septiembre del 2017

Fuente: Elaboración propia

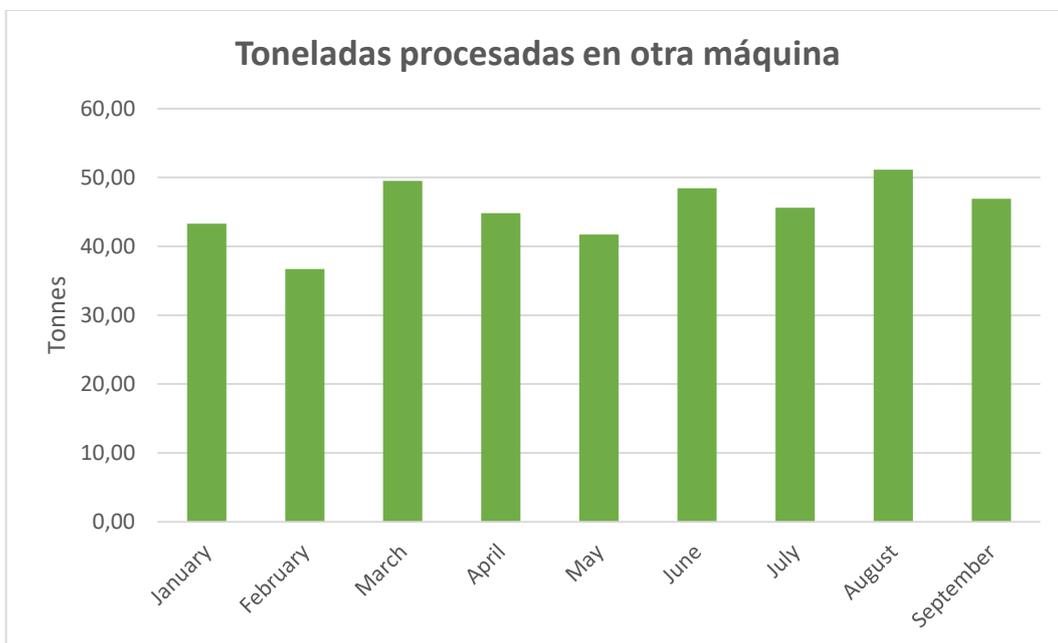


Gráfico 2.5 Toneladas procesadas en otra máquina desde enero a septiembre del 2017

Fuente: Elaboración propia

Causa 10: Método de pronóstico no adecuado

El alto porcentaje de error en las proyecciones de venta como se observa en la tabla 2.22, afecta directamente al momento de planificar la producción porque las corridas quedan cortas ocasionando que no se procesen todas las toneladas o quedan largas, incrementando los niveles de inventario.

Tabla 2.22 Porcentaje de error del método actual de pronóstico

GB			
MRG0011209	840%	ECGB404030	365%
ERGB011215	59%	ERGB021215	470%
ERGB011220	157%	ERGB021220	448%
ETGB402015	104%	ECGB505015	400%
ETGB204020	51%	ECGB505020	464%
ECGB303015	3938%	ETGB604015	292%
ECGB303020	30%	ETGB604020	282%
ERGB020015	141%	ERGB030020	224%
ERGB020020	187%	ETGB804020	832%
ERGB020030	397%	ETGB804030	72%
ECGB404015	74%	ECGB757520	119%
ECGB404020	45%	ETGB105020	406%

Min	30%
Max	3938%
Promedio	433%

Fuente: Elaboración propia

Causa 11: No se posee una óptima cantidad de lote.

Causa 15: Política de producción equivocadas.

Causa 17: Producción de SKU's no necesario.

Las causas 11, 15 y 17 se verificaron comparando la rotación de los ítems (ver tabla 2.23) con el volumen de producción para constatar que los ítems de baja rotación están siendo producidos en cantidades que no son necesarias por ende el tamaño de lote y la política de producción no son las óptimas.

Tabla 2.23 Índice de rotación

Family	SKU's	% market share	I.R.I.	volume production
2 1/2 63,50 mm	ERGQ021220	0.22%	0.00	445.44
2 50,80 mm	ETN0503025	0.02%	0.00	10.67
1 1/2 38,10 mm	MCC0303012	0.43%	0.10	112.89
1 1/2 38,10 mm	MCF3045515	0.20%	0.13	33.33
3 3/4 95,25 mm	ECNC757520	0.01%	0.14	63.56
3 76,20 mm	CIGBS21232	0.20%	0.19	495.56
2 1/2 63,50 mm	ETNC604030	0.01%	0.19	0.00
2 50,80 mm	ETN0503020	0.26%	0.27	466.67
2 50,80 mm	ETNC503020	0.36%	0.32	432.11
2 1/2 63,50 mm	ERN0021215	0.14%	0.32	367.89
3 3/4 95,25 mm	ECNC757530	0.10%	0.33	119.78
2 50,80 mm	ECGB404030	0.02%	0.34	26.67
2 50,80 mm	ERG0020030	0.19%	0.35	113.33
3 76,20 mm	ERN0030030	0.29%	0.37	420.00
2 1/2 73,0 mm	MTF0753811	0.16%	0.37	1178.78
2 50,80 mm	ETNE503015	0.28%	0.38	508.89
2 1/2 63,50 mm	ETN0604025	0.02%	0.38	117.89
2 1/2 63,50 mm	ERN0021220	0.39%	0.45	458.11
3 76,20 mm	ETN0804018	0.22%	0.51	526.67
3 3/4 95,25 mm	AC07507525	0.03%	0.53	102.78
2 1/2 63,50 mm	ETN0307030	0.07%	0.54	153.67
2 1/2 63,50 mm	ETN0604018	0.11%	0.54	435.44
2 1/2 63,50 mm	ECG0505025	0.12%	0.57	22.11
2 1/2 63,50 mm	ECN0505025	0.05%	0.59	190.56
3 3/4 95,25 mm	ECNC757540	0.07%	0.60	76.22

Fuente: Elaboración propia

Causa 18: Elevada cantidad de SKU's a producir

El exceso de producción se ve reflejado en los niveles de inventario de producto terminado que se mantiene en la bodega.

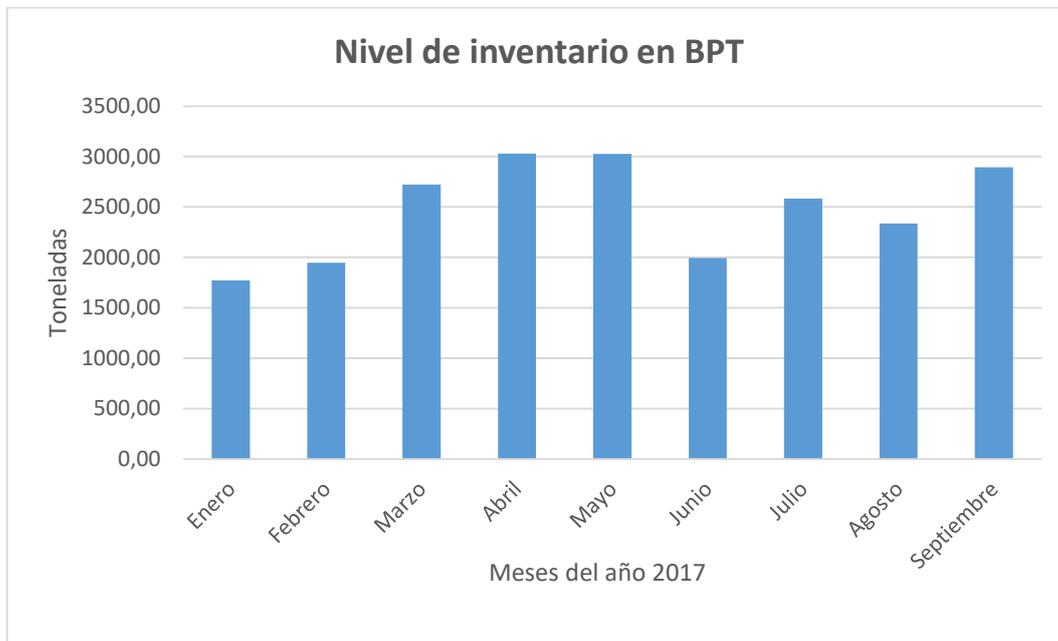


Gráfico 2.6 Niveles de Inventario en BPT desde enero a septiembre del 2017

Fuente: Elaboración propia

2.7.5.2 Verificación con entrevistas

La causa 7 fue verificada por medio de entrevista con el supervisor del departamento de abastecimiento.

Causa 7: Alto Lead time de la materia prima

Pregunta:

¿Con qué proveedores trabajan y cuál es el lead time estimado?

Respuesta:

Nuestros principales proveedores son de China por lo tanto si yo libero una orden de compra el día de hoy primero tienen que aprobarlo la gerencia y luego se emite la orden de compra, es decir que vamos a tener ese pedido después de unos 3 a 5 meses.

2.7.6 Cinco porqués

Con la herramienta de los cinco porqués se encontró la causa raíz de cada causa potencial mostrada en la tabla 2.24.

No.	Causa	Primer ¿POR QUÉ?	Segundo ¿POR QUÉ?	Tercero ¿POR QUÉ?	Cuarto ¿POR QUÉ?	Quinto ¿POR QUÉ?	Causa Raíz
2	Falta de coordinación entre departamentos	Porque los objetivos de cada departamento son diferentes	Cada departamento maneja indicadores diferentes	-----	-----	-----	Cada departamento maneja indicadores diferentes
4	Elevado tiempo de armado	Porque hay muchos grupos de producción en la misma línea	Existen 7 familias de productos con especificaciones diferentes	Cada familia tiene tiempos de preparación diferente	-----	-----	Cada familia tiene tiempos de preparación diferente
7	Alto Lead time de la materia prima	Porque la materia prima es exportada	Porque los proveedores extranjeros son	La materia prima no se encuentra con facilidad en el país	-----	-----	La materia prima no se encuentra con facilidad en el país

Tabla 2.24 Diagrama de los cinco porqués

No.	Causa	Primer ¿POR QUÉ?	Segundo ¿POR QUÉ?	Tercero ¿POR QUÉ?	Cuarto ¿POR QUÉ?	Quinto ¿POR QUÉ?	Causa Raíz
9	Mala planificación de la cantidad a producir	El comportamiento de la demanda no se ha analizado	No hay una persona específica para realizar el pronóstico	El departamento de abastecimiento genera el pronóstico y lo modifica	El encargado del plan de producción modifica las cantidades según su experiencia		El encargado del plan de producción modifica las cantidades según su experiencia
10	Método de pronóstico no adecuado	Porque el estimado de ventas tiene gran porcentaje de error	Porque no se utiliza un método de pronóstico para la proyección de ventas	Porque no se ha analizado el comportamiento histórico de las ventas	-----	-----	No se ha analizado el comportamiento histórico de las ventas
11	No se posee una óptima cantidad de lote	Porque la cantidad a producir se establece según las últimas ventas	El pronóstico considera solo los últimos 3 meses de ventas	-----	-----	-----	El pronóstico considera solo los últimos 3 meses de ventas
15	Política de producción equivocadas	La política de producción está enfocada en almacenar producto	Los costos de operación no son considerados	-----	-----	-----	Los costos de operación no son considerados

Continuación tabla 2.24

No.	Causa	Primer ¿POR QUÉ?	Segundo ¿POR QUÉ?	Tercero ¿POR QUÉ?	Cuarto ¿POR QUÉ?	Quinto ¿POR QUÉ?	Causa Raíz
16	Falta de control de los niveles de producción	Se fabrican productos de diferentes familias	El planificador realiza el plan de producción según lo que estima que más se venderá				El planificador realiza el plan de producción según lo que estima que más se venderá
17	Producción de SKU's de no necesario	Se producen los últimos ítems vendidos	Los datos históricos de venta no son considerados para elaborar el plan	-----	-----	-----	Los datos históricos de venta no son considerados para elaborar el plan
18	Elevada cantidad de SKU's a producir	Diferentes tamaños de producción para cada ítem	No existe un tamaño fijo de lote de producción	No saben cuánto se podría producir según la capacidad de la máquina	-----	-----	No se sabe cuánto se podría producir según la capacidad de la máquina

Fuente: Elaboración propia

Continuación tabla 2.24

En la tabla 2.25 se muestra cada causa potencial del problema con su respectiva causa raíz, la misma que se consideró para plantear las propuestas de mejora.

Tabla 2.25 Causas raíces

No.	Causa	Causa Raíz
2	Falta de coordinación entre departamentos	Cada departamento maneja indicadores diferentes.
4	Elevado tiempo de armado	Cada familia tiene tiempos de preparación diferente.
7	Alto Lead time de la materia prima	La materia prima no se encuentra con facilidad en el país.
9	Mala planificación de la cantidad a producir	El encargado del plan de producción modifica las cantidades según su experiencia.
10	Método de pronóstico no adecuado	No se ha analizado el comportamiento histórico de las ventas.
11	No se posee una óptima cantidad de lote	El pronóstico considera solo los últimos 3 meses de ventas.
15	Política de producción equivocadas	Los costos de operación no son considerados.
16	Falta de control de los niveles de producción	El planificador realiza el plan de producción según lo que estima que más se venderá.
17	Producción de SKU's no necesario	Los datos históricos de venta no son considerados para elaborar el plan.
18	Elevada cantidad de SKU's a producir	No se sabe cuánto se podría producir según la capacidad de la máquina.

Fuente: Elaboración propia

2.8 Mejorar

Luego de identificar las causas raíces se plantearon propuestas de mejora identificadas como solución 1, solución 2, solución 3 y solución 4. En la tabla 2.26 se describe cada solución junto con el costo respectivo al momento de implementarla.

Causa	Causa Raíz	Solución 1	Costo	Solución 2	Costo	Solución 3	Costo	Solución 4	Costo
Falta de coordinación entre departamentos	Cada departamento maneja indicadores diferentes	Sociabilizar los indicadores con los departamentos de producción y abastecimiento	\$ -	Sociabilizar los indicadores con los departamentos de producción y abastecimiento	\$ -	Sociabilizar los indicadores con los departamentos de producción y abastecimiento	\$ -	Sociabilizar los indicadores con los departamentos de producción y abastecimiento	\$ -
Elevado tiempo de armado	Cada familia tiene tiempos de preparación diferente	Contratar un servicio de consultoría para el análisis del comportamiento de la demanda	\$ 7000	Establecer un método de pronóstico cuantitativo que mejor se adapte al comportamiento de la demanda	\$ 1500	Comprar un programa de proyección de demanda	\$ 1900	Generar el pronóstico por medio de métodos cualitativos	\$ 1500
Alto Lead time de la materia prima	La materia prima no se encuentra con facilidad en el país								
Mala planificación de la cantidad a producir	El encargado del plan de producción modifica las cantidades según su experiencia								

Tabla 2.26 Propuesta de soluciones

Causa	Causa Raíz	Solución 1	Costo	Solución 2	Costo	Solución 3	Costo	Solución 4	Costo
Política de producción equivocadas	Los costos de operación no son considerados	Comprar un software de planeación de la producción	\$ 20000	Diseñar un modelo matemático para generar el plan maestro de producción	\$ 1500	Comprar un software de planeación de la producción	\$ 20000	Generar un programa maestro de producción independiente del plan agregado	\$ 1500
Falta de control de los niveles de producción	El planificador realiza el plan de producción según lo que estima que más se venderá								
Producción de SKU's no necesario	Los datos históricos de venta no son considerados para elaborar el plan								
Elevada cantidad de SKU's a producir	No se sabe cuánto se podría producir según la capacidad de la máquina								
Costo total de la solución		\$ 27000		\$ 3000		\$ 21900		\$ 3000	

Fuente: Elaboración propia

Continuación tabla 2.26

2.8.1 Descripción de las soluciones

2.8.1.1 Solución 1

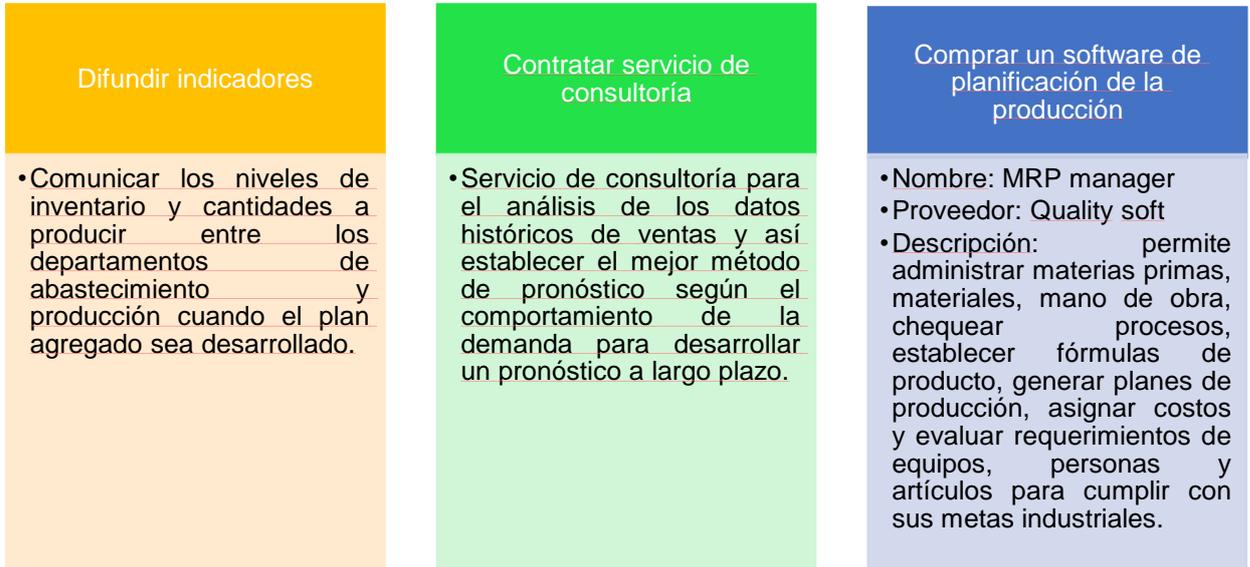


Gráfico 2.7 Descripción de la solución 1

Fuente: Elaboración propia

2.8.1.2 Solución 2



Gráfico 2.8 Descripción de la solución 2

Fuente: Elaboración propia

2.8.1.3 Solución 3

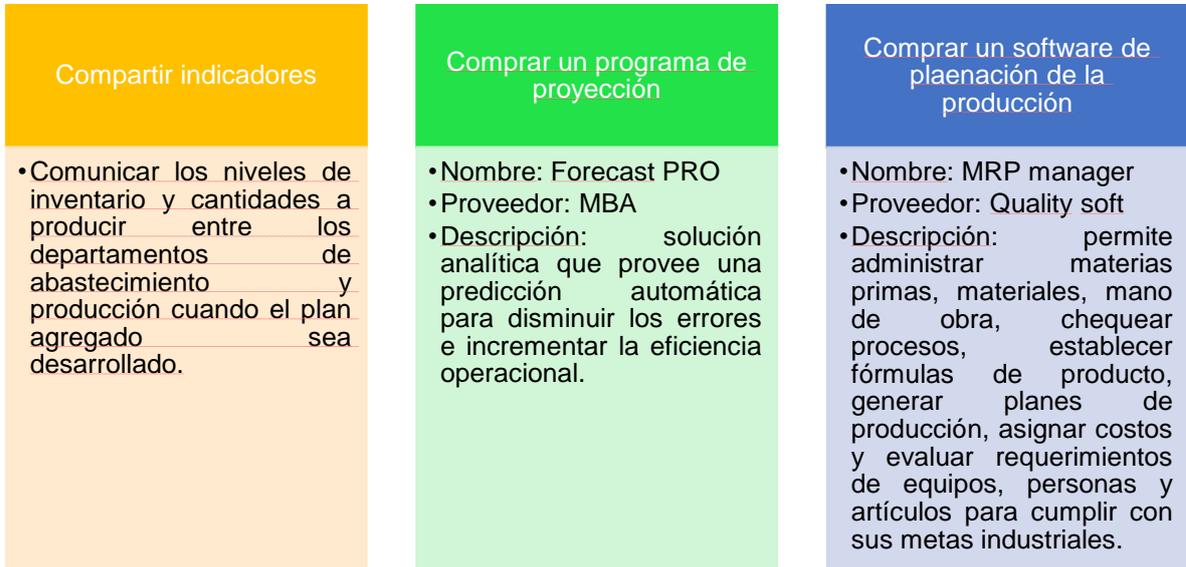


Gráfico 2.9 Descripción de la solución 3

Fuente: Elaboración propia

2.8.1.4 Solución 4

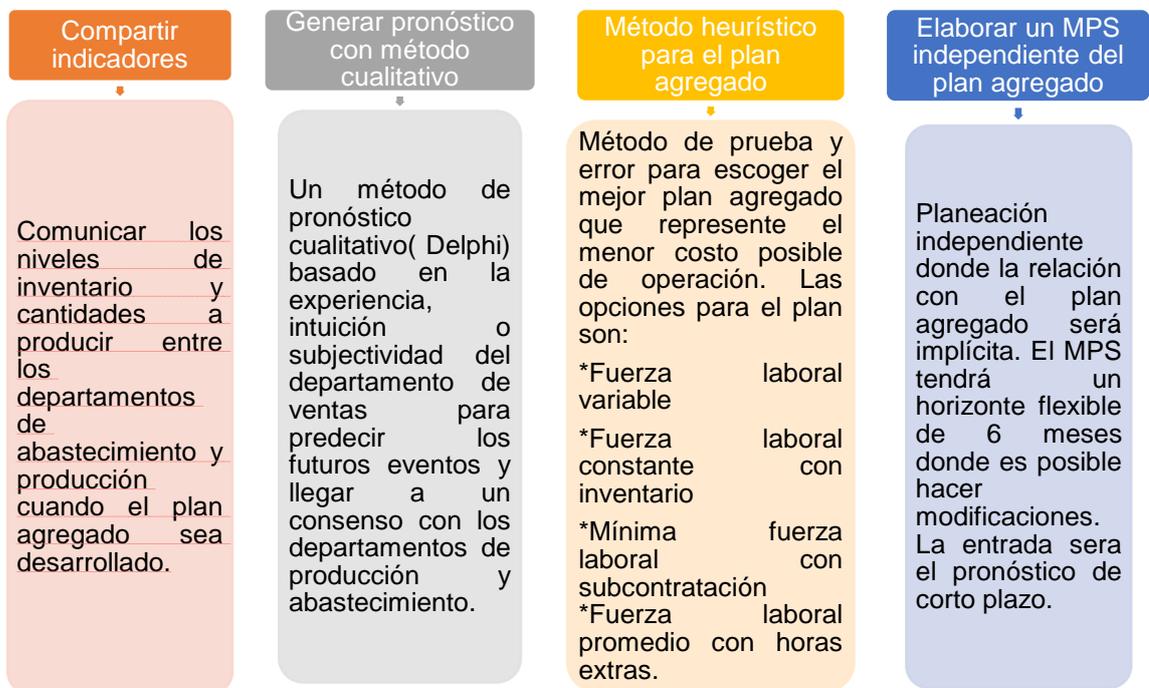


Gráfico 2.10 Descripción de la solución 4

Fuente: Elaboración propia

2.8.2 Evaluación de las propuestas de mejora

Para evaluar cada propuesta de mejora se utilizó la matriz mostrada en el gráfico 2.11, esta matriz contrasta el impacto que causa cada solución propuesta con el esfuerzo involucrado al momento de implementarla. El impacto y el esfuerzo están categorizados como alto o bajo.

Las propuestas de mejora fueron analizadas por el jefe de producción de la compañía y posteriormente fueron calificadas según el criterio antes mencionado.

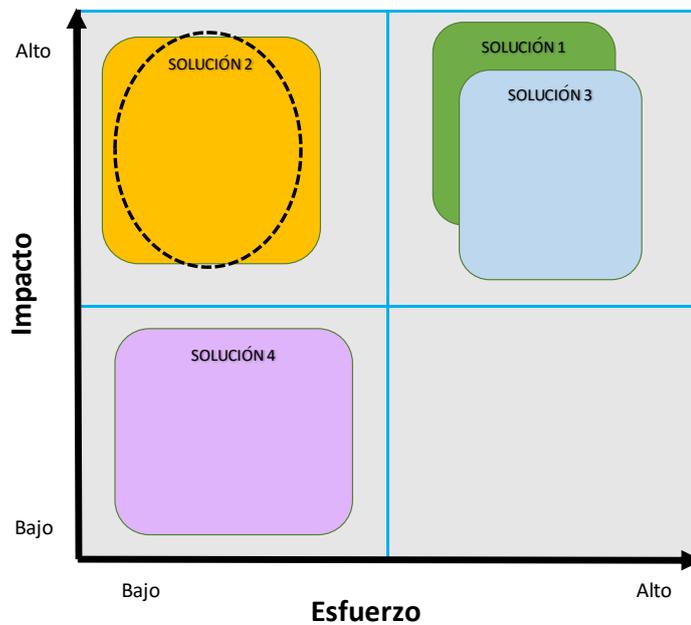


Gráfico 2.11 Matriz para evaluar las propuestas de mejora

Fuente: Elaboración propia

Se seleccionó la propuesta número 2 ya que es de alto impacto y de menor costo.

2.8.3 Desarrollo de la propuesta de solución seleccionada

Esta solución está compuesta por 4 actividades y cada una de ellas se describe a continuación:

2.8.3.1 Generación de Pronóstico de ventas mensuales

La línea de producción de la máquina 4KU procesa 194 ítems de los cuales, se analizaron las ventas desde enero del año 2014 hasta septiembre del año 2017 para calcular la variabilidad en el momento y tamaño de la demanda y así, identificar el patrón que sigue para establecer un método de pronóstico que más se ajuste a su comportamiento.

2.8.3.1.1 Análisis de la data histórica de ventas.

En el gráfico 2.12 se observa que las ventas no presentan estacionalidad, pero si tiene tendencia a crecer.

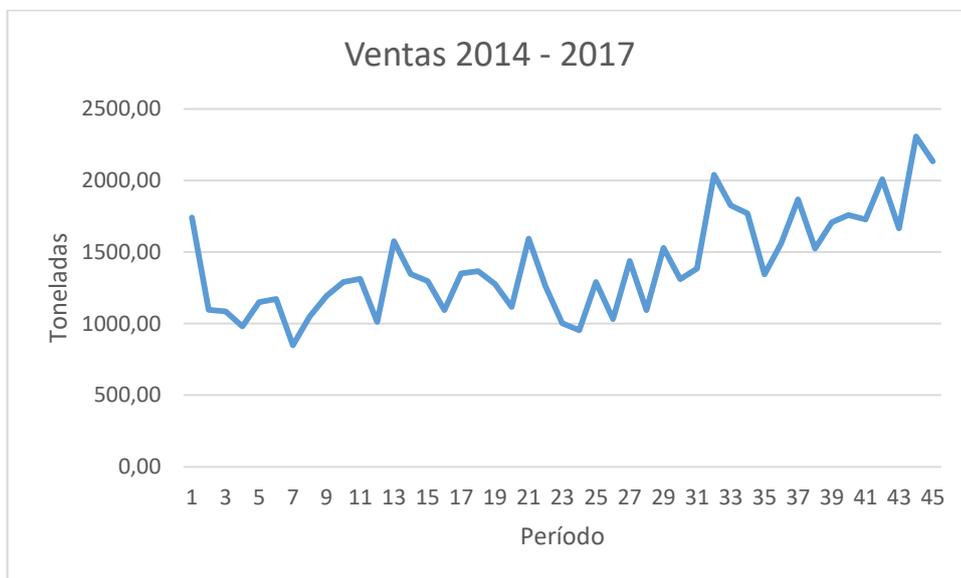


Gráfico 2.12 Ventas históricas desde enero del 2014 hasta septiembre del 2017

Fuente: Elaboración propia

Para identificar el patrón de demanda que sigue la data histórica de ventas, se calcularon los indicadores de variabilidad en el tamaño y momento de la demanda.

La variabilidad en el tamaño de la demanda viene dada por el coeficiente de variación.

$$\text{Coeficiente de variación} = \frac{\text{Desviación estandar de las ventas}}{\text{Media de las ventas}}$$

La variabilidad en el momento de la demanda se obtiene del cálculo del ADI (average demand Interval).

$$ADI = \frac{\text{Suma de diferencias de intervalos con demanda no cero entre ellos}}{\text{Número de intervalos con demanda entre ellos}}$$

En la tabla 2.27 podemos observar que en promedio se venden 1410.72 toneladas mensuales, el coeficiente de variación es de 0.21 lo que significa que la cantidad vendida mes a mes no varía significativamente y el ADI de 1 nos indica que esto ocurre todos los meses. Por lo tanto, el patrón de demanda es suavizado según el cuadro de categorización de demanda mostrado en la figura 2.11.

Tabla 2.27 Medidas estadísticas de la demanda

Media (toneladas)	1922
Desv. Estándar (toneladas)	360,50
Naturaleza de la demanda	Probabilística
Variabilidad en el tamaño de la demanda - Cv	0,21
Cv ²	0,05
Variabilidad en el momento de la demanda - ADI	1
Patrón de demanda	Suavizado

Fuente: Elaboración propia

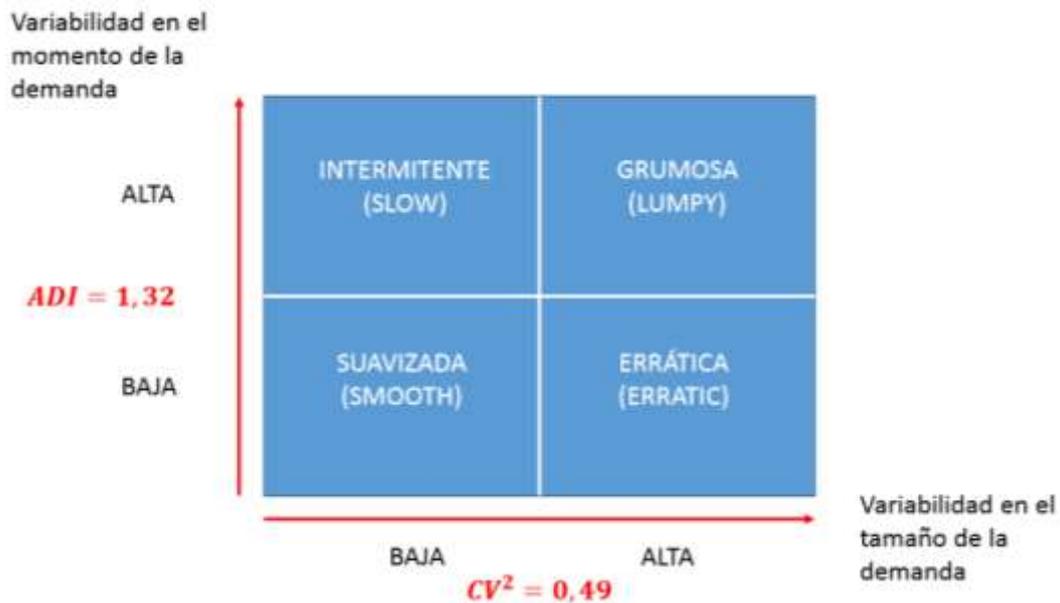


Figura 2.11 Cuadro de categorización de demanda

Fuente: Macías Jaime, 2017

2.8.3.1.2 Selección del método de pronóstico

Al tener una serie de tiempo y necesitar un horizonte de pronóstico a largo plazo se utilizó el modelo estático para proyectar las ventas.

El modelo estático requiere de:

1. Determinar la periodicidad de la estacionalidad: En el gráfico 2.13 se puede observar que la demanda no presenta ningún ciclo de periodicidad que marque estacionalidad por lo que se escogió una periodicidad de 1.

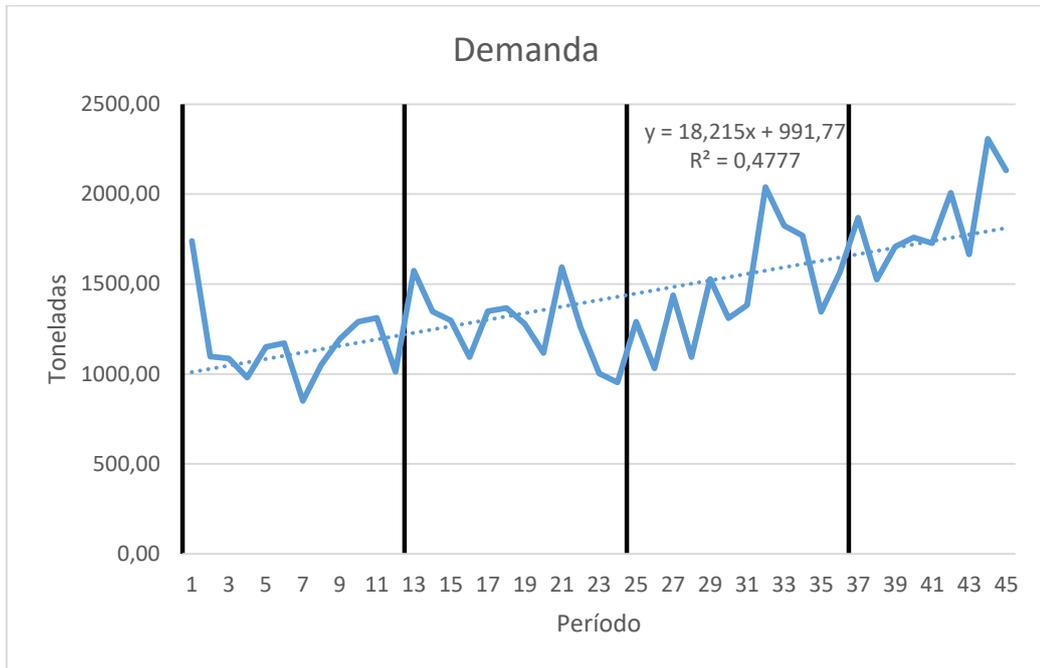


Gráfico 2.13 Periodicidad de la demanda

Fuente: Elaboración propia

- Desestacionalizar la demanda: al escoger una periodicidad de 1 se utilizó la fórmula de periodo impar.

Fórmula para desestacionalizar

$$Dt = \sum_{t-\frac{p-1}{2}}^{t+\frac{p-1}{2}} \frac{Di}{P}$$

Al aplicar la fórmula, la demanda desestacionalizada quedó igual a la demanda original.

- Estimar nivel y tendencia: para estimar el nivel y tendencia se usó una regresión lineal para hallar el intercepto y el coeficiente de la variable X.

Intercepto = Nivel (L)

Coficiente de variable X = Tendencia (T)

Tabla 2.28 Estadísticas de la regresión

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,69115184
Coefficiente de determinación R ²	0,47769087
R ² ajustado	0,46554414
Error típico	253,053204
Observaciones	45

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	2518323,15	2518323,15	39,3267245	1,4742E-07
Residuos	43	2753544,74	64035,9241		
Total	44	5271867,88			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>
Intercepción	991,771063	76,7211209	12,9269626	2,0753E-16	837,048177
Variable X 1	18,2152376	2,9046309	6,27110234	1,4742E-07	12,3574911

Fuente: Elaboración propia

4. Modelar la demanda: para modelar la demanda se obtuvieron el factor de estacionalidad St y el factor de estacionalidad promedio para generar el pronóstico Ft .

$$\text{Factor de estacionalidad, } St = \frac{Dt}{\overline{Dt}}$$

$$\text{Pronóstico, } Ft = (L + tT) * \bar{s}_t$$

En la tabla 2.29 se muestran los coeficientes correspondientes al nivel y la tendencia obtenidos de la regresión lineal.

Tabla 2.29 Coeficientes de nivel y tendencia

Nivel (L) – (toneladas)	991,77
Tendencia (T) – (toneladas)	18,21

Fuente: Elaboración propia

El pronóstico generado con el método estático se observa en la tabla 2.30.

Tabla 2.30 Pronóstico con el método estático

Período, t	Demanda, Dt	Demanda Desestacionalizada ESTIMADA	Factor de estacionalidad	Factor de estacionalidad promedio	Pronóstico
21	1962,08	1602,75	1,22	1,00	1.603,07
22	1561,11	1614,07	0,97	1,00	1.614,39
23	1243,16	1625,40	0,76	1,00	1.625,72
24	1196,62	1636,72	0,73	1,00	1.637,05
25	1555,11	1648,05	0,94	1,00	1.648,38
26	1184,34	1659,38	0,71	1,00	1.659,71
27	1808,19	1670,70	1,08	1,00	1.671,04
28	1274,92	1682,03	0,76	1,00	1.682,36
29	1722,58	1693,35	1,02	1,00	1.693,69
30	1680,97	1704,68	0,99	1,00	1.705,02
31	1682,62	1716,01	0,98	1,00	1.716,35
32	2229,26	1727,33	1,29	1,00	1.727,68
33	2108,06	1738,66	1,21	1,00	1.739,01
34	2161,10	1749,98	1,23	1,00	1.750,33
35	1561,28	1761,31	0,89	1,00	1.761,66
36	1798,70	1772,64	1,01	1,00	1.772,99

Fuente: Elaboración propia

5. Graficar la curva de pronóstico

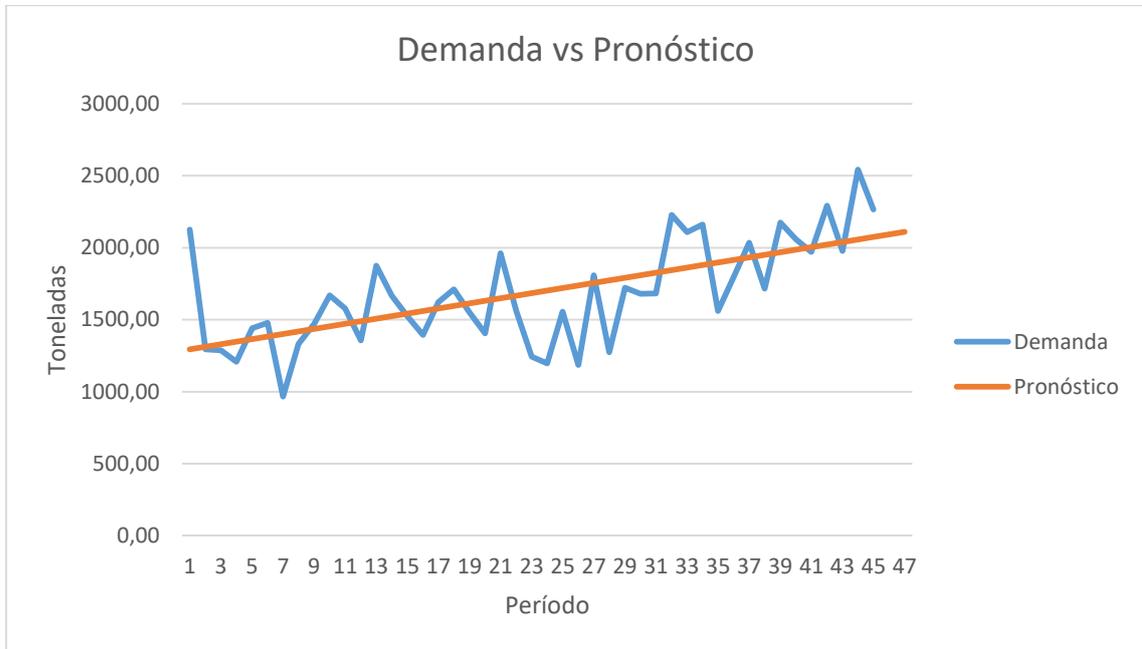


Gráfico 2.14 Curva de Demanda VS. Pronóstico propuesto

Fuente: Elaboración propia

6. Calcular el error de pronóstico

En la tabla 2.31 se muestran los errores resultantes del pronóstico generado con el método estático.

Tabla 2.31 Error del pronóstico con el método estático

Forecasting Technique	MSE	MAD	MAPE(%)	TS Range	
				Min	Max
Static model	74.015	203	13	-3,54	6,00

Fuente: Elaboración propia

2.8.3.1.3 Cálculo del stock de seguridad

Se realizó el cálculo del stock de seguridad para protección por el error del pronóstico (tabla 2.32) resultando que se deben mantener 217,04 toneladas mensuales en inventario.

Tabla 2.32 Cálculo de SS por error del pronóstico

Demanda promedio (toneladas)	1922
Desviación estándar de demanda (toneladas)	360,50
CV	0,21
Nivel de servicio	0,80
K	0,84
Desviación del error	259,97
SS (toneladas)	217,04

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, también se analizaron las toneladas vendidas y procesadas a diario durante los meses de enero a septiembre del 2017 para establecer las toneladas que se deben mantener en inventario como stock de seguridad para la protección por la falta de capacidad de producción (tabla 2.33).

La máxima diferencia fue de 702,39 toneladas, las cuales se establecieron como stock de seguridad.

Tabla 2.33 Cálculo de SS por falta de capacidad de producción

	2017								
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
Toneladas vendidas	2056,78	1737,08	2201,30	2096,66	2035,18	2316,28	1994,78	2588,69	2307,37
Toneladas procesadas	1936,76	1591,32	1998,86	1703,88	1835,84	1917,35	1835,84	1886,30	1835,84
Diferencia	120,03	145,76	202,44	392,78	199,33	398,94	158,93	702,39	471,53
Máximo	702,39								
Mínimo	120,03								

Fuente: Elaboración propia

El stock de seguridad total se compone del stock debido al error de pronóstico y del stock por falta de capacidad de producción resultando que se deben mantener en total 919,43 toneladas como stock de seguridad.

2.8.3.2 Construcción del Plan agregado de producción

Se formuló un modelo de programación lineal para la generación del plan agregado de producción que satisfaga la demanda mientras se minimizan los costos de operación. En este modelo se agregaron las restricciones con las que opera la máquina y todos los costos involucrados.

2.8.3.2.1 Datos de entrada

Pronóstico de la demanda: se ingresa el pronóstico en toneladas agregadas.

Costos: en la tabla 2.34 se detallan los costos utilizados.

Tabla 2.34 Costos utilizados en el plan agregado

Abreviatura	Descripción	Unidades	Valor
Ch	Costo de contratar (grupo de 5)	(\$/grupo)	1237,50
Cl	Costo de despedir (grupo de 5)	(\$/grupo)	19000,00
Cw	Costo de mano de obra (grupo de 5)	(\$/mes)	1664,80
Co	Costo de sobretiempo (grupo de 5)	(\$/hora)	11,21
Ci	Costo de mantener inventario	(\$/tonelada/mes)	7,68
Cs	Costo marginal de toneladas no procesadas	(\$/tonelada/mes)	210,36
Cc	Costo de procesar en otra máquina	(\$/tonelada)	621,54
Cp	Costo de producción (MP+transformación)	(\$/tonelada)	619,70

Fuente: Elaboración propia

Variables de decisión: en la tabla 2.35 se describen las variables de decisión consideradas para la construcción del modelo.

Tabla 2.35 variables de decisión

Abreviatura	Descripción	
Ht	Contratados	Nr de turnos contratados al inicio del mes t, t=1,...,6
Lt	Despidos	Nr de turnos despedidos al inicio del mes t, t=1,...,6.
Wt	Mano de Obra	Nr de turnos en mes t,t=1,...,6.
Ot	Sobretiempo	Nr de horas extras trabajadas en mes t.
It	Inventario	Inventario al final del mes t, t= 1,...,6.
St	Ordenes no procesadas	Toneladas no procesadas al final del mes t.
Ct	Toneladas procesadas en otra máquina	Toneladas maquiladas en el mes t.
Pt	Producción interna	Toneladas producidas en el mes t,t= 1,...,6.

Fuente: Elaboración propia

Formulación del modelo

Función objetivo

MIN Z =

$$\sum_{t=1}^n Cw * Wt : \text{Costo total de mano de obra regular}$$

+

$$\sum_{t=1}^n Ch * Ht + \sum_{t=1}^n Cl * Lt : \text{Costo total de contrataciones y despidos}$$

+

$$\sum_{t=1}^n Co * Ot : \text{Costo total de sobretiempo}$$

+

$$\sum_{t=1}^n C_i * I_t + \sum_{t=1}^n C_s * S_t$$

: *Costo total de inventario y toneladas no procesadas*

+

$$\sum_{t=1}^n C_p * P_t + \sum_{t=1}^n C_c * C_t$$

: *Costo de producción y procesar en otra máquina*

Restricciones básicas

Balance de mano de obra:

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t$$

Capacidad de producción:

$$P_t \leq [(Horas laborables/mano de obra/mes)W_t + O_t]/(Horas /unidad)$$

Balance de inventario:

$$I_t = I_{t-1} + P_t + C_t - (D_t + S_{t-1} - S_t)$$

Límite de sobretiempo:

$$O_t \leq (Max número de horas sobretiempo/mano de obra/mes)W_t$$

Restricciones adicionales

Toneladas faltantes

$$= \text{Ton max que se pueden procesar} - \text{Ton totales a procesar}$$

$Ct \leq$ toneladas máximas que se pueden mandar a procesar a otras máquinas

$Wi \in Z^+$ la mano de obra es un número entero

$Ii \geq$ Stock de seguridad establecido

Modelo en hoja de cálculo

En las figuras 2.12, 2.13 y 2.14 se muestran las variables de decisión, restricciones, costos y parámetros de solver respectivamente.

VARIABLES DE DECISIÓN									
Period	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt	Dt
	# Contratados	# Despidos	# Mano de Obra (turnos)	# Sobretiempo	# Inventario	# Toneladas No Procesadas	# Toneladas procesadas en otra máquina	# Producción interna	Toneladas Requeridas
0	0	0	2	0	2060	0	0	0	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 2.12 Variables de decisión que influyen en el plan agregado

Fuente: Elaboración propia

RESTRICCIONES						
	"=0"	">=0"	"=0"	">=0"		
Periodo	Wt	Pt	It	Ot	Horas de producción	Horas máxima de producción al mes
1	(2,00)	-	(2.200,40)	-	-	624
2	-	-	(2.218,63)	-	-	624
3	-	-	(2.236,86)	-	-	624
4	-	-	(2.255,09)	-	-	624
5	-	-	(2.273,32)	-	-	624
6	-	-	(2.291,55)	-	-	624
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Figura 2.13 Restricciones que influyen en el plan agregado

Fuente: Elaboración propia

TABLA DE COSTOS								
Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt
	# Contratados	# Despidos	# Mano de Obra (turnos)	# Sobretiempo	# Inventario	# Toneladas No Procesadas	# Toneladas procesadas en otra máquina	# Producción interna
	(\$/Trabajador)	(\$/Trabajador)	(\$/mes)	(\$/hora)	(\$/tonelada/mes)	(\$/tonelada/mes)	(\$/tonelada)	(\$/tonelada)
COSTO	\$ 1.237,50	\$ 19.000,00	\$ 1.664,80	\$ 11,20	\$ 7,68	\$ 210,36	\$ 621,54	\$ 619,70
1	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
2	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
5	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
6	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
7								
8								
9								
10								
11								
12								

Figura 2.14 Costos que influyen en el plan agregado

Fuente: Elaboración propia

2.8.3.3 Construcción del plan maestro de producción

Considerando las toneladas que el plan agregado indica que se pueden procesar acorde a la capacidad instalada de la máquina, se distribuyeron las toneladas de manera óptima para construir el plan maestro de producción para cada ítem elaborado en la línea de producción de la máquina 4KU.

En la tabla 2.36 se observa los datos de entrada para el MPS y los datos considerados para la distribución de las toneladas para cada ítem.

Tabla 2.36 Datos para la elaboración del MPS

Datos de entrada para construcción de MPS	
1	Pronóstico de ventas
2	Inventario Inicial
3	Stock de seguridad
4	Tamaño de lote
5	Pedidos
Datos para distribución de toneladas	
1	Toneladas procesadas en el plan agregado
2	Toneladas procesadas en otra máquina del plan agregado

Fuente: Elaboración propia

Siendo:

TP = Toneladas procesadas

P = Pedidos

TSP = Toneladas sin procesar

TS = Toneladas procesadas en otra máquina

NB = Necesidades brutas

NN = Necesidades netas

Io = Inventario inicial

SS = Stock de seguridad

If = Inventario final

MPS = Cantidad a producir en el mes

LT = Tamaño de lote

La restricción que se consideró para la distribución de las toneladas fue:

$$\sum_{t=1}^n TP + P + TSP \leq \sum_{t=1}^n TP + TS$$

El MPS para cada ítem calcula las necesidades brutas, necesidades netas, inventario final y la cantidad a producir (MPS) por cada mes como se muestra en la figura 2.15.

PERIODO (MES)			1	2	3	4	5	6
INVENTARIO INICIAL			0,07	40,62	41,60	42,04	41,16	40,20
TONELADAS PRONOSTICADAS			19,46	19,01	19,56	20,88	20,97	21,87
PEDIDOS								
PENDIENTES A ENTREGAR								
NECESIDADES BRUTAS			19,46	19,01	19,56	20,88	20,97	21,87
NECESIDADES NETAS			55,89	-21,60	-22,04	-21,16	-20,20	-18,33
INVENTARIO FINAL			40,62	41,60	42,04	41,16	40,20	38,33
MPS			60,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00

Figura 2.15 Plantilla del MPS

Fuente: Elaboración propia

Necesidades brutas: resultan de la suma de las toneladas pronosticadas, los pedidos y las toneladas pendientes de entrega.

$$NB = TP + P + TSP$$

Necesidades netas: son las toneladas que se deben procesar para satisfacer las necesidades brutas considerando el inventario inicial y el stock de seguridad establecido.

$$\text{Si } I_0 > 0, NN = NB - I_0 + SS$$

$$\text{Si } I_0 < 0, NN = NB + SS$$

Inventario final: son las toneladas que quedan disponibles al final del mes.

$$If = I_o + MPS - SS$$

MPS: son las toneladas que se tendrán que procesar en el mes considerando el pronóstico, pedidos, órdenes sin procesar, stock de seguridad y el tamaño de lote de producción.

$$\text{Si } I_o - NB < SS, \text{ MPS} = \frac{NB + SS - I_o}{LS} * LS$$

$$\text{Si } I_o - NB > SS, \text{ MPS} = 0$$

2.8.3.4 Compartir indicadores entre el departamento de producción y abastecimiento

Los indicadores que se propusieron compartir entre los departamentos son el inventario estacional promedio y el tiempo de ciclo promedio.

Inventario estacional promedio

Son las toneladas que en promedio se mantendrán en inventario durante el horizonte de planeación.

$$\text{Inventario estacional promedio} = \left\{ \left[\frac{I_o + I_6}{2} + \sum_{t=1}^{n-1} I_t \right] / n \right\}$$

Tiempo de ciclo promedio

Es el tiempo que pasa en inventario una tonelada desde que se procesa hasta que se vende.

$$\text{Tiempo de ciclo promedio} = \frac{\text{Inventario Promedio}}{\text{Salida total}} = \left\{ \frac{\left[\frac{I_o + I_6}{2} + \sum_{t=1}^{n-1} I_t \right]}{n} \right\} /$$

$$(\sum_{t=1}^n Dt/n)$$

2.9 Implementar

Con las actividades descritas de la solución seleccionada, en la tabla 2.37 se detalla el por qué, cómo, dónde y cuándo debe ser implementada, además se muestran los responsables de la implementación.

Tabla 2.37 Descripción de la solución seleccionada

Solución 2	Por qué	Cómo	Dónde	Cuando	Responsable
Sociabilizar los indicadores con los departamentos de producción y abastecimiento.	Porque los departamentos deben acordar los niveles de inventario que se mantendrán para minimizar los costos.	Comunicando los niveles de inventario promedio y el tiempo de ciclo promedio.	Entre los departamentos de producción y abastecimiento	Enero 22 a enero 31	Larisa Acosta y Leonardo Sabagay
Establecer un método de pronóstico cuantitativo que mejor se adapte al comportamiento de la demanda.	Porque el pronóstico de ventas es la entrada para el plan agregado y MPS. Si el pronóstico está mal el plan no podrá cumplir con los requerimientos de los clientes.	Involucrando los departamentos de ventas, producción, abastecimiento y financiero para compartir datos y usando el manual de usuario proporcionado para ejecutar el programa desarrollado	En la línea de producción de la máquina 4KU	Octubre 2 a noviembre 7	
Diseñar un modelo matemático para generar el plan agregado	Porque con el plan agregado la empresa sabrá cuántas toneladas tendrán que producir durante los próximos seis meses teniendo en cuenta el costo que implica ese plan			Noviembre 8 a enero 4	
Diseñar un modelo matemático para generar el plan maestro de producción	Porque con el MPS podrán: * Formar familias de producción de acuerdo con las ventas y las especificaciones del producto. * Liberar la orden de compra con la cantidad sugerida para satisfacer la demanda. * Establecer un tamaño de lote para cada producto. * Conocer las toneladas que se fabricarán mes a mes.			Noviembre 28 a enero 29	

Fuente: Elaboración propia

Antes de implementar la solución propuesta, el modelo fue validado con la situación original para posteriormente optimizarlo y plantear escenarios.

A continuación, se detallan las etapas ejecutadas antes de la implementación.

2.9.1 Validación del modelo con la situación original

Al ingresar los datos de la situación original en la plantilla del plan agregado se obtuvo que el costo promedio de operación por tonelada fue de \$744,36 como se muestra en las figura 2.16 y 2.17 mientras que el costo promedio de operación por tonelada de la empresa es de \$735,71 lo que indica que hubo una diferencia de \$8,65 que representa el %1 de diferencia por lo tanto la plantilla desarrollada si está reflejando la realidad de la empresa.

Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt
	# Contratados	# Despidos	Mano de Obra (turnos)	Sobretiempo	Inventario	# Toneladas No Procesadas	# Toneladas procesadas en otra máquina	Producción interna
	(\$/Trabajador)	(\$/Trabajador)	(\$/mes)	(\$/hora)	(\$/tonelada/mes)	(\$/tonelada/mes)	(\$/tonelada)	(\$/tonelada)
COSTO	\$ 1.237,50	\$ 19.000,00	\$ 1.664,80	\$ 11,20	\$ 7,68	\$ 210,36	\$ 621,54	\$ 619,70
1	\$ -	\$ -	\$ 3.329,60	\$ 873,60	\$ 13.670,40	\$ 182.153,09	\$ 22.002,52	\$ 1.208.415,00
2	\$ -	\$ -	\$ 3.329,60	\$ 873,60	\$ 14.976,00	\$ 154.510,15	\$ -	\$ 889.269,50
3	\$ -	\$ -	\$ 3.329,60	\$ 873,60	\$ 13.647,36	\$ 208.331,47	\$ 647.271,76	\$ 1.280.300,20
4	\$ -	\$ -	\$ 3.329,60	\$ 873,60	\$ 13.608,96	\$ 188.659,50	\$ 2.026,22	\$ 946.901,60
5	\$ -	\$ -	\$ 3.329,60	\$ 873,60	\$ 14.284,80	\$ 175.481,95	\$ 279.674,35	\$ 835.355,60
6	\$ -	\$ -	\$ 3.329,60	\$ 873,60	\$ 15.621,12	\$ 203.738,96	\$ 515.629,58	\$ 943.183,40

Figura 2.16 Costos de la situación original en la plantilla del plan agregado

Fuente: Elaboración propia

COSTO TOTAL		\$ 9.010.290,73		
COSTO TOTAL (\$/tonelada)		\$ 738,03		
Mes	Costo total mensual de operación	Toneladas procesadas	Costo total mensual de operación (\$/ton)	Costo mensual promedio de operación (\$/ton)
1	\$ 1.466.503,88	1985,40	738,64	744,36
2	\$ 1.099.018,52	1435,00	765,87	
3	\$ 2.189.813,66	3107,40	704,71	
4	\$ 1.191.459,16	1531,26	778,09	
5	\$ 1.345.059,58	1797,97	748,10	
6	\$ 1.718.435,94	2351,60	730,75	

Figura 2.17 Costo promedio de operación por tonelada de la situación original

Fuente: Elaboración propia

2.9.2 Optimización de la situación inicial

Luego de comprobar que la herramienta desarrollada si reflejaba la realidad de la empresa se corrió el modelo como se observa en la figuras 2.18, 2.19 y 2.20 para obtener la solución sugerida por el programa.

Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt	Dt	Demanda pronosticada (Toneladas)
	# Contratados	# Despidos	Mano de Obra (turnos)	Sobretiempo	Inventario	Toneladas No Procesadas	# Toneladas procesadas en otra máquina	Producción interna	Toneladas Requeridas	
0	0	0	2	0	2060	0	0	0		
1	-	-	2,00	-	919,43	-	-	745,19	1.885,76	1840,36
2	1,00	-	3,00	-	919,43	-	-	1.843,03	1.843,03	1.798,65
3	-	-	3,00	-	919,43	-	-	1.895,85	1.895,85	1.850,20
4	-	-	3,00	-	919,43	-	7,74	2.016,29	2.024,02	1.975,29
5	-	-	3,00	-	919,43	-	15,97	2.016,29	2.032,26	1.983,33
6	-	-	3,00	-	919,43	-	103,30	2.016,29	2.119,58	2.068,55

Figura 2.18 Solución sugerida por el programa

Fuente: Elaboración propia

COSTO TOTAL		\$ 6.894.454,07		
		\$	646,76	
Mes	Costo total de operación mensual	Toneladas procesadas	Costo total de operación (\$/ton)	Costo promedio de operación (\$/ton)
1	\$ 508.244,36	745,19	682,03	650,49
2	\$ 1.191.474,94	1843,03	646,48	
3	\$ 1.222.971,11	1895,85	645,08	
4	\$ 1.302.416,10	2024,02	643,48	
5	\$ 1.307.536,57	2032,26	643,39	
6	\$ 1.361.810,99	2119,58	642,49	

Figura 2.19 Costo promedio de operación por tonelada de la solución sugerida

Fuente: Elaboración propia

INVENTARIO ESTACIONAL PROMEDIO:	507,24
TIEMPO DE CICLO PROMEDIO (MESES)	0,26
TIEMPO DE CICLO PROMEDIO (DIAS)	8

Figura 2.20 Indicadores compartidos en la solución sugerida

Fuente: Elaboración propia

La solución es:

*Aumentar un turno de trabajo desde el segundo mes.

*Procesar en otras máquinas en el cuarto, quinto y sexto mes.

Por un costo total de operación \$646,76 por tonelada para los seis meses y en promedio se tendrá un costo de \$650,49 por tonelada.

2.9.3 Escenarios planteados

2.9.3.1 Escenario 1: Plan agregado con 2 turnos de trabajo

En la figura 2.21 y 2.22 se observan las soluciones sugeridas por el programa con la limitante de trabajar sólo con dos turnos.

Period	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt	Dt	Demanda pronosticada (Toneladas)
	# Contratados	# Despidos	Mano de Obra (turnos)	Sobretiempo	Inventario	# Toneladas No Procesadas	# Toneladas subcontradas	Producción interna	Toneladas Requeridas	
0	0	0	2	0	2060	0	0	0	0	
1	0,00	-	2,00	96,00	1.594,98	-	296,00	1.738,98	1.885,76	1.840,36
2	-	0,00	2,00	96,00	1.129,96	-	296,00	1.738,98	1.843,03	1.798,65
3	-	-	2,00	96,00	900,00	235,07	296,00	1.738,98	1.895,85	1.850,20
4	-	-	2,00	96,00	900,00	700,09	296,00	1.738,98	2.024,02	1.975,29
5	-	-	2,00	96,00	900,00	1.165,11	296,00	1.738,98	2.032,26	1.983,33
6	-	-	2,00	96,00	900,00	1.630,13	296,00	1.738,98	2.119,58	2.068,55

Figura 2.21 Solución sugerida por el programa con la limitante de trabajar sólo con dos turnos

Fuente: Elaboración propia

Average overhead cost per month		36059,18		
Overhead cost (6 month)		\$ 216.355,05		
COSTO TOTAL		\$ 8.645.808,49		
		\$ 708,10		
Mes	Costo total de operación mensual	Toneladas procesadas	Costo total de operación (\$/ton)	Costo promedio de operación (\$/ton)
1	\$ 1.278.274,66	2034,98	628,15	690,38
2	\$ 1.274.703,29	2034,98	626,40	
3	\$ 1.322.385,79	2034,98	649,83	
4	\$ 1.420.207,85	2034,98	697,90	
5	\$ 1.518.029,90	2034,98	745,97	
6	\$ 1.615.851,95	2034,98	794,04	

Figura 2.22 Costo promedio de operación por tonelada con la limitante de trabajar sólo con dos turnos

Fuente: Elaboración propia

La solución es:

*Procesar todos los meses en otras máquinas.

Por un costo total de operación \$708,10 por tonelada para los seis meses y en promedio se tendrá un costo de \$690,38 por tonelada.

2.9.3.2 Escenario 2: Incremento del nivel de servicio a 90%

Incrementar el nivel de servicio al 90% implica que las toneladas que se deben mantener en inventario aumentaran a 1033, por un costo de operación por tonelada para los 6 meses de planificación de \$646,95. (Figura 2.23)

Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt
	# Contratados	# Despidos	Mano de Obra (turnos)	Sobretiempo	Inventario	# Toneladas No Procesadas	# Unidades subcontradas	Producción interna
	(\$/Trabajador)	(\$/Trabajador)	(\$/mes)	(\$/hora)	(\$/tonelada/mes)	(\$/tonelada/mes)	(\$/tonelada)	(\$/tonelada)
COSTO	\$ 1.237,50	\$ 19.000,00	\$ 1.664,80	\$ 11,20	\$ 7,68	\$ 210,36	\$ 621,54	\$ 619,70
1	\$ -	\$ -	\$ 3.329,60	\$ -	\$ 7.932,48	\$ -	\$ -	\$ 532.098,49
2	\$ 1.237,50	\$ -	\$ 4.994,40	\$ -	\$ 7.932,48	\$ -	\$ -	\$ 1.142.122,67
3	\$ -	\$ -	\$ 4.994,40	\$ -	\$ 7.932,48	\$ -	\$ -	\$ 1.174.856,34
4	\$ -	\$ -	\$ 4.994,40	\$ -	\$ 7.932,48	\$ -	\$ -	\$ 1.254.287,10
5	\$ -	\$ -	\$ 4.994,40	\$ -	\$ 7.932,48	\$ -	\$ -	\$ 1.259.392,41
6	\$ -	\$ -	\$ 4.994,40	\$ -	\$ 7.932,48	\$ -	\$ 38.731,50	\$ 1.274.889,32
7								
8								
9								
10								
11								
12								
Average overhead cost per month		36059,18						
Overhead cost (6 month)		\$ 216.355,05						
COSTO TOTAL		\$ 6.969.866,85						
COSTO TOTAL (\$/ton)		\$ 646,9527						

Figura 2.23 Costo promedio de operación por tonelada con un nivel de servicio del 90%

Fuente: Elaboración propia

2.9.3.3 Escenario 3: Incremento del nivel de servicio a 95%

Incrementar el nivel de servicio al 95% implica que las toneladas que se deben mantener en inventario aumentarían a 1126, por un costo de operación por tonelada para los 6 meses de planificación de \$647,11 (Figura 2.24)

Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt
	# Contratados	# Despidos	Mano de Obra (turnos)	Sobretiempo	Inventario	# Toneladas No Procesadas	# Unidades subcontradas	Producción interna
	\$(Trabajador)	\$(Trabajador)	\$(mes)	\$(hora)	\$(tonelada/mes)	\$(tonelada/mes)	\$(tonelada)	\$(tonelada)
COSTO	\$ 1.237,50	\$ 19.000,00	\$ 1.664,80	\$ 11,20	\$ 7,68	\$ 210,36	\$ 621,54	\$ 619,70
1	\$ -	\$ -	\$ 3.329,60	\$ -	\$ 8.652,00	\$ -	\$ -	\$ 590.156,83
2	\$ 1.237,50	\$ -	\$ 4.994,40	\$ -	\$ 8.652,00	\$ -	\$ -	\$ 1.142.122,67
3	\$ -	\$ -	\$ 4.994,40	\$ -	\$ 8.652,00	\$ -	\$ -	\$ 1.174.856,34
4	\$ -	\$ -	\$ 4.994,40	\$ -	\$ 8.652,00	\$ -	\$ -	\$ 1.254.287,10
5	\$ -	\$ -	\$ 4.994,40	\$ -	\$ 8.652,00	\$ -	\$ -	\$ 1.259.392,41
6	\$ -	\$ -	\$ 4.994,40	\$ -	\$ 8.652,00	\$ -	\$ 38.731,50	\$ 1.274.889,32
7								
8								
9								
10								
11								
12								
Average overhead cost per month		36059,18						
Overhead cost (6 month)		\$ 216.355,05						
COSTO TOTAL		\$ 7.032.242,32						
COSTO TOTAL (\$/ton)		\$ 647,1150						

Figura 2.24 Costo promedio de operación por tonelada con un nivel de servicio del 95%

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones de escenarios: incrementar el nivel de servicio no implica un incremento significativo en el costo total de operación del plan de 6 meses. El incremento por tonelada en el costo es de \$1,16.

2.9.3.4 Escenario 4: Incremento del salario

Incrementando en \$78 en el salario de cada operador lo que implica un aumento de \$390 en los cinco operadores, da como resultado \$2.054,80 por turno (Figura 2.25)

Periodo	Ht	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt
	# Hires	# Fires	# Workforce	# Overtime work	# Inventory	# Unprocessed orders (tonnes)	# Tonnes processed on another machine	# Production
	(\$Trabajador)	(\$Trabajador)	(\$mes)	(\$hora)	(\$tonelada/mes)	(\$tonelada/mes)	(\$tonelada)	(\$tonelada)
COSTO	\$ 1.237,50	\$ 19.000,00	\$ 2.054,80	\$ 11,20	\$ 7,68	\$ 210,36	\$ 621,54	\$ 619,70
1	\$ -	\$ -	\$ 4.109,60	\$ -	\$ 7.061,19	\$ -	\$ -	\$ 461.794,39
2	\$ 1.237,50	\$ -	\$ 6.164,40	\$ -	\$ 7.061,19	\$ -	\$ -	\$ 1.142.122,67
3	\$ -	\$ -	\$ 6.164,40	\$ -	\$ 7.061,19	\$ -	\$ -	\$ 1.174.856,34
4	\$ -	\$ -	\$ 6.164,40	\$ -	\$ 7.061,19	\$ -	\$ 4.810,72	\$ 1.249.494,91
5	\$ -	\$ -	\$ 6.164,40	\$ -	\$ 7.061,19	\$ -	\$ 9.925,99	\$ 1.249.494,91
6	\$ -	\$ -	\$ 6.164,40	\$ -	\$ 7.061,19	\$ -	\$ 64.205,08	\$ 1.249.494,91
7								
8								
9								
10								
11								
12								
Average overhead cost per mont		36059,18						
Overhead cost (6 month)	\$	216.355,05						
COSTO TOTAL		\$ 6.901.091,25						
	\$	647,39						

Figura 2.25 Costo promedio de operación por tonelada con un incremento del salario

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones: al incrementar el salario en \$78 no implica un incremento significativo en el costo total de operación del plan de 6 meses. El incremento por tonelada en el costo es de \$0,63.

2.10 Control

De la solución propuesta, en la tabla 2.38 se muestra qué, quién, por qué, cómo, cuándo, dónde y cuánto se debe controlar.

Solución	¿Qué?	¿Quién?	¿Por qué?	¿Cómo?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Cuánto?
Establecer un método de pronóstico cualitativo	Pronóstico de ventas	Jefe de abastecimiento	Porque el pronóstico de la demanda forma la base de toda planeación para determinar los niveles de producción.	Actualizando el programa con las ventas realizadas	Mensual	En la línea de producción de la máquina 4KU	El tracking signal esté entre 6 y -6
Diseñar un modelo de programación lineal para el plan agregado de producción	Costo de operación	Jefe de producción	Porque permite tomar decisiones respecto a la gestión de los recursos disponibles para satisfacer los requerimientos de los clientes	Ejecutando la herramienta de planificación desarrollada usando el manual de usuario proporcionado	Semestral		El costo de operación por tonelada no sea mayor a \$773,44
Diseñar un modelo matemático para el MPS					Mensual		
Comunicar indicadores entre el departamento de producción y abastecimiento	Inventario estacional promedio y tiempo de ciclo promedio	Jefe de abastecimiento	Para conocer las existencias de las toneladas que se mantienen en inventario y el tiempo que pasan ahí durante el periodo de planeación.	Actualizando la herramienta de planeación según el manual de usuario cada vez que se tengan nuevos datos	Semestral		Mínimo se debe tener el stock de seguridad por el error de pronóstico

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.38 Control de la solución seleccionada

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

Para el análisis de los resultados de la implementación de la herramienta elaborada se comparó la situación actual de la empresa con los resultados obtenidos al ejecutar la herramienta, el indicador analizado fue el establecido en la definición del problema.

3.1 Indicador de evaluación

El indicador que fue comparado entre la situación actual y la herramienta propuesta es el costo de operación.

3.1.1 Costo de operación

El costo de operación por tonelada procesada en la línea de producción de la máquina 4KU resulta de la suma de los costos en los que se tuvieron que incurrir para satisfacer la demanda del mercado divididos para las toneladas procesadas, en la tabla 3.1 se muestran los costos generados por la situación actual de la empresa.

Tabla 3.1 Costo de operación de la situación actual

Mes	Costo total de operación (\$)	Toneladas procesadas	Costo total mensual de operación (\$/ton)	Costo mensual promedio de operación (\$/ton)
1	1466503,88	1985,40	738,64	744,36
2	1099018,52	1435,00	765,87	
3	2189813,66	3107,40	704,71	
4	1191459,16	1531,26	778,09	
5	1345059,58	1797,97	748,10	
6	1718435,94	2351,60	730,75	

Fuente: Elaboración propia

Con la herramienta de planeación desarrollada se pueden observar los costos en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Costo de operación con la herramienta de planeación

Mes	Costo total de operación (\$)	Toneladas Procesadas	Costo de operación (\$/ton)	Costo de operación promedio (\$/ton)
1	508244,36	745,19	682,03	650,49
2	1191474,94	1843,03	646,48	
3	1222971,11	1895,85	645,08	
4	1302416,10	2024,02	643,48	
5	1307536,57	2032,26	643,39	
6	1361810,99	2119,58	642,49	

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 3.3 claramente que el costo promedio de operación por tonelada fue reducido con la implementación de la herramienta de planeación, sin embargo, se realizó un análisis estadístico para comprobar lo observado.

Tabla 3.3 Porcentaje de reducción del costo total de operación al implementar la herramienta

Costo total de operación (\$/ton)	Costo de operación (\$/ton) en la situación actual	Costo de operación (\$/ton) con herramienta de planeación	\$ reducidos	Porcentaje de reducción	Porcentaje promedio de reducción
Mes	C1	C2	C2 - C1	(C1 - C2)/ C1	
1	\$ 738,64	\$ 682,03	\$ 56,61	8%	13%
2	\$ 765,87	\$ 646,48	\$ 119,39	16%	
3	\$ 704,71	\$ 645,08	\$ 59,63	8%	
4	\$ 778,09	\$ 643,48	\$ 134,61	17%	
5	\$ 748,10	\$ 643,39	\$ 104,71	14%	
6	\$ 730,75	\$ 642,49	\$ 88,26	12%	

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Análisis estadísticos de los datos

Normalidad de los datos

Se realizaron pruebas de normalidad de los costos de operación por tonelada mensuales obtenidos de la situación original y de la herramienta desarrollada para luego plantear las respectivas hipótesis.

La prueba de normalidad Anderson-darling realizada a los datos de la situación actual se observa en el gráfico 3.1 y de la herramienta de planeación en el gráfico 3.2.

Costo de operación 1 (C1) = Costo de operación con la situación actual.

Costo de operación 2 (C2) = Costo de operación con la herramienta de planeación.

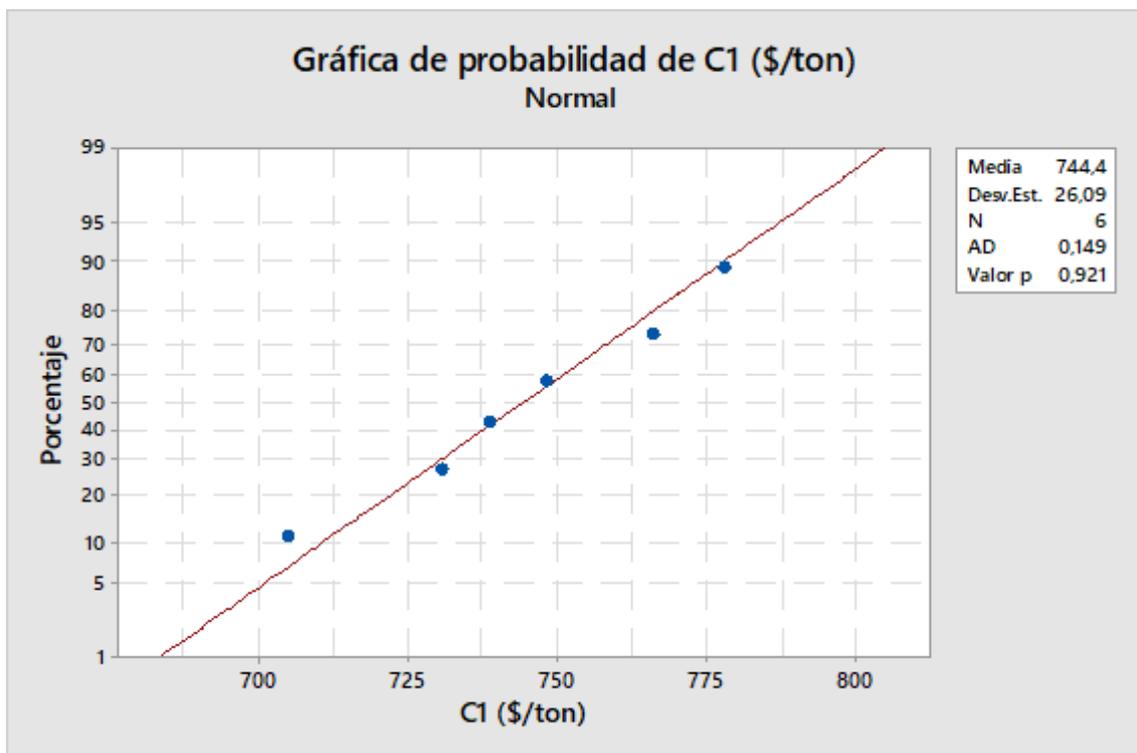


Gráfico 3.1 Prueba de normalidad Anderson-darling de los costos de operaciones de la situación actual

Fuente: Elaboración propia

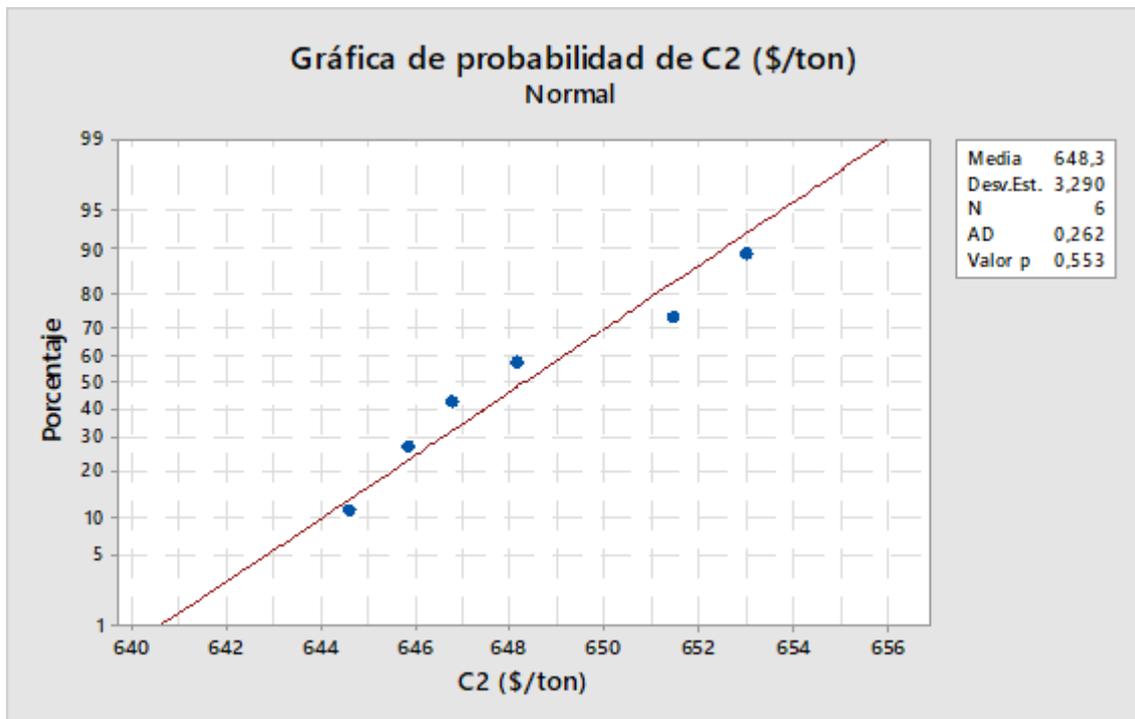


Gráfico 3.2 Prueba de normalidad Anderson-darling de los costos de operaciones de la herramienta de planeación

Fuente: Elaboración propia

Después de realizar las pruebas de normalidad se obtuvo que el valor p fue mayor a 0.05 para ambas situaciones indicando que los datos son normales.

Planteamiento de hipótesis

Dado que los datos fueron normales se plantearon las siguientes hipótesis:

μ_1 = Costo de operación por tonelada procesada en la situación inicial.

μ_2 = Costo de operación por tonelada procesada con la herramienta de planeación.

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

$$H_1 = \mu_1 - \mu_2 > 0$$

Prueba de hipótesis

Método

μ_1 : media de C1 (\$/ton)

μ_2 : media de C2 (\$/ton)

Diferencia: $\mu_1 - \mu_2$

No se presupuso igualdad de varianzas para este análisis.

Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
C1 (\$/ton)	6	744,4	26,1	11
C2 (\$/ton)	6	648,30	3,29	1,3

Estimación de la diferencia

Diferencia	Límite inferior de 95% para la diferencia
96,1	74,4

Prueba

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 > 0$

Valor T	GL	Valor p
8,95	5	0,000

Figura 3.1 Prueba de hipótesis para diferencias de medias

Fuente: Elaboración propia

Con lo observado en la figura 3.1 se puede afirmar con suficiente evidencia estadística que el costo de operación por tonelada procesada en la situación inicial (C1) es mayor que el costo obtenido con la herramienta de planeación (C2) dado que la diferencia de medias tiene un valor $p = 0,000$ **menor** al nivel de significancia de 0.05 por lo que se rechazó la hipótesis nula.

En el diagrama de cajas mostrado en el gráfico 3.3 se puede observar claramente la diferencia que existe en el costo de operación de ambas situaciones.

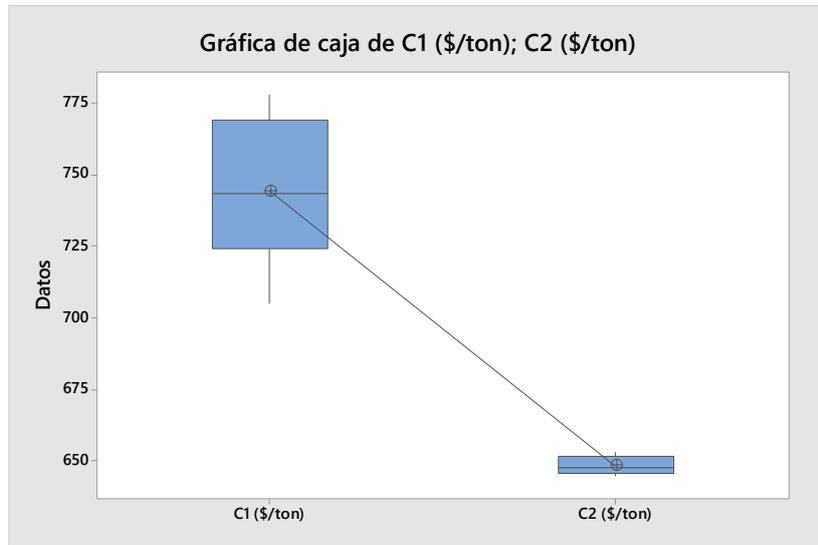


Gráfico 3.3 Diagrama de cajas de los costos de operaciones de la situación actual y de la herramienta propuesta.

Fuente: Elaboración propia

En promedio se obtuvo una reducción del 13 % en el costo de operación por tonelada de la situación original. **(Ver el gráfico 3.4)**

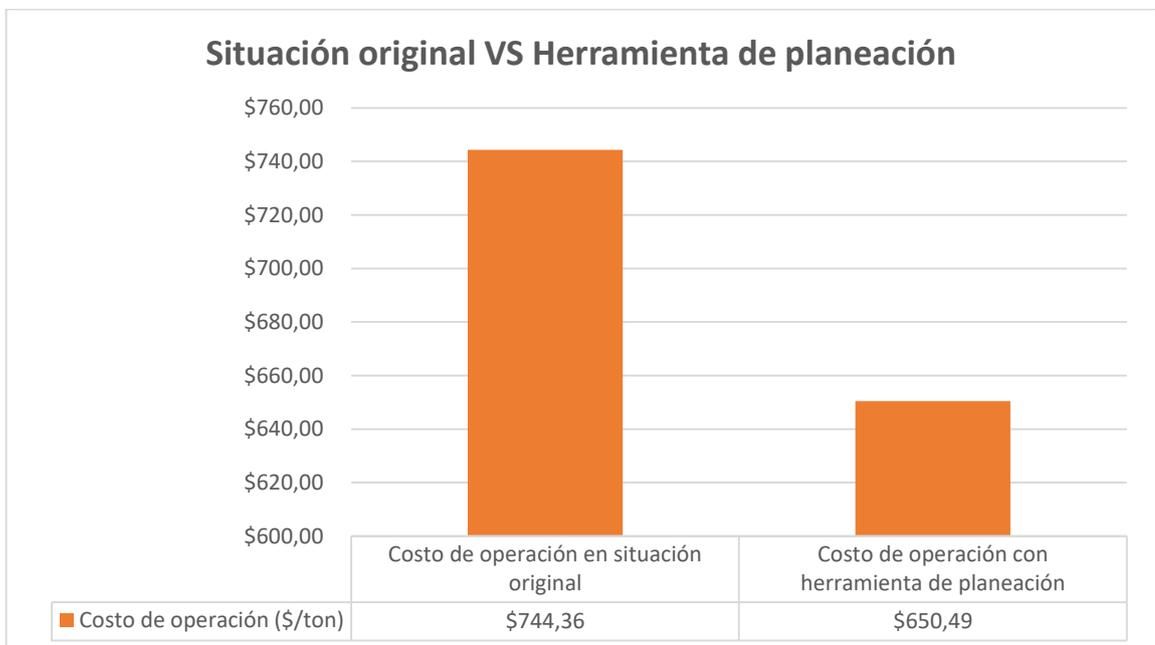


Gráfico 3.4 Comparación entre situación original vs herramienta de planificación

Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Comparación de niveles de inventario, toneladas sin procesar y toneladas procesadas en otra máquina.

Se compararon las toneladas de producto terminado en inventario, toneladas sin procesar y toneladas procesadas en otra máquina de la situación actual con la herramienta de planeación porque según el diagrama de Pareto estos costos son los que más influyen en el costo de operación haciendo que se incremente. Los porcentajes reducidos con la implementación de la herramienta se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Porcentaje de reducción de las toneladas de PT, procesadas en otra máquina y sin procesar implementar la herramienta.

	Antes	Después	Reducción
Toneladas de producto terminado en inventario	1862	919	51%
Toneladas procesadas en otra máquina	393	21	95%
Toneladas sin procesar	882	0	100%

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 3.5 se observa la comparación del antes y después de los parámetros mencionados.

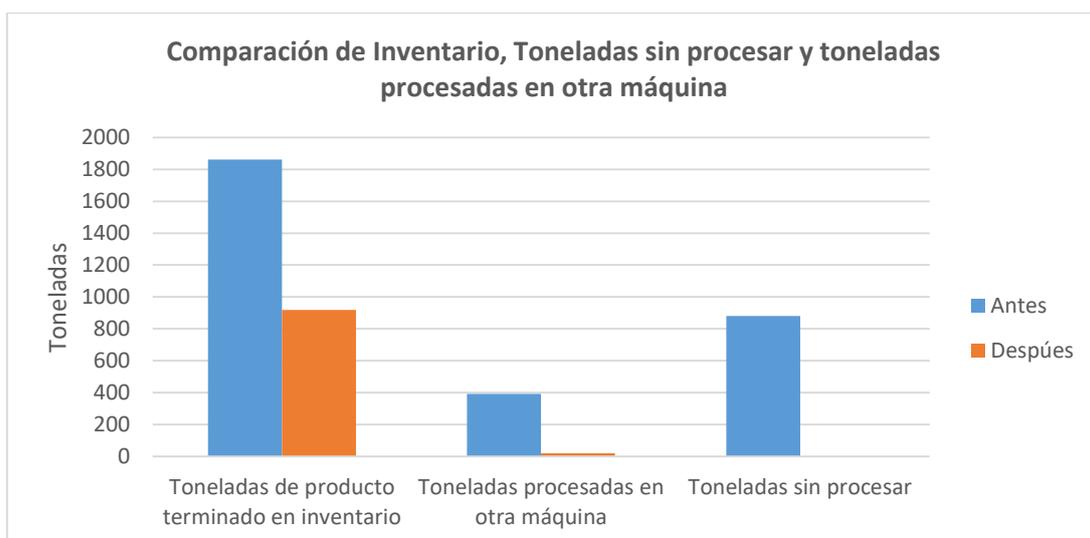


Gráfico 3.5 Comparación de la situación actual VS herramienta de planeación del Inventario, toneladas sin procesar y procesadas en otra máquina

Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Comparación de capacidad de producción

Con la comparación de las horas máximas de producción y toneladas máximas que se pueden procesar de la situación actual (antes) con lo que se obtendrá con la herramienta de planificación (después) se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Porcentaje de incremento de la capacidad de producción.

Capacidad de producción	Antes	Después	Incremento
Horas máximas de producción al mes	448	624	39%
Producción máxima al mes (toneladas)	1739	2431	39%

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo un incremento del 39% en la capacidad de producción, lo cual también se puede observar en el gráfico 3.6.

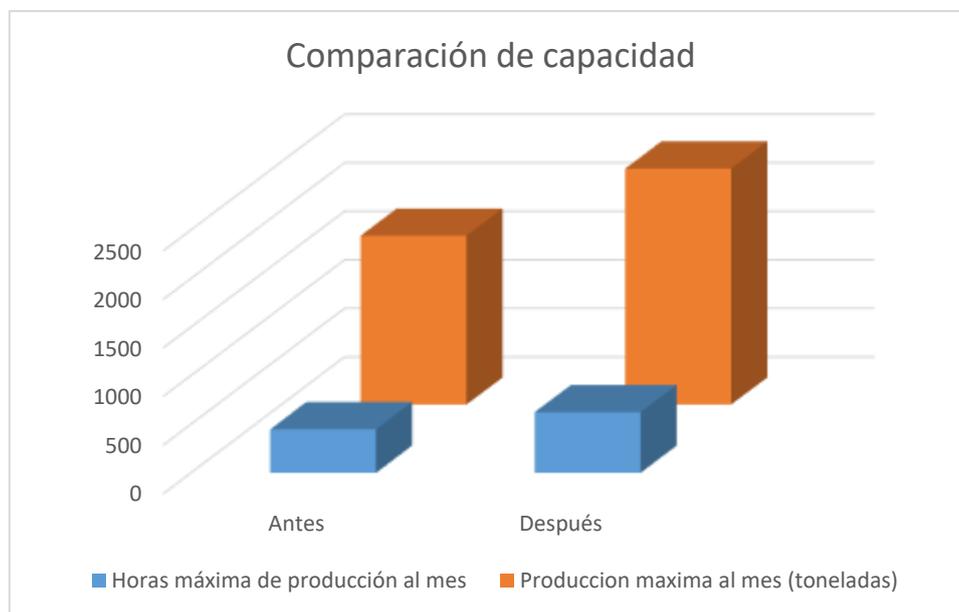


Gráfico 3.6 Comparación de capacidad de la situación actual y la herramienta de planificación

Fuente: Elaboración propia

3.1.5 Comparación entre el método de pronóstico de la empresa y el propuesto.

El método de pronóstico propuesto tiene un error promedio del 13% mientras que el método que usa actualmente la empresa, tiene un error promedio del 15%. El método propuesto sirve para una proyección a largo plazo y considera los datos históricos de ventas. Las diferencias entre los métodos de pronóstico se pueden observar en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Comparación del error de pronóstico del método actual y el propuesto

Forecasting Tecnique	MSE	MAD	MAPE(%)	TS Range	
				Min	Max
Static model	74.015	203	13	-3,54	6,00
Company method	74.325	222	15	-6,80	4,00

Fuente: Elaboración propia

3.2 Análisis de rentabilidad

Se realizó el análisis de rentabilidad con un estado de resultados incremental considerando los ahorros generados con la implementación de la herramienta de planeación. Los ahorros resultan de la diferencia de los costos que afronta la empresa actualmente con los costos que se obtienen con la propuesta de mejora.

Los supuestos considerados fueron los siguientes:

- TMAR del 1,36 % mensual según la tasa establecida por la Corporación Financiera Nacional.
- Los gastos generales se mantuvieron constantes debido a que no varían con las toneladas producidas.

- Inversión de \$3000 por la construcción de la herramienta. La construcción de la herramienta fue durante 4 meses, realizada por 2 personas y con remuneración del sueldo básico por persona.

Con los supuestos establecidos se elaboró el flujo de caja que se observa en la tabla 3.7.

Después de realizar el análisis de rentabilidad se obtuvo un **VAN** de **\$2.221.504,37** por lo que se concluye que la implementación de la herramienta de planeación es económicamente rentable.

Tabla 3.7 Estado de resultados incremental
ESTADO DE RESULTADOS INCREMENTAL

Periodos		0	1	2	3	4	5	6
Ingresos		\$ -	\$ 614.147	\$ (38.443)	\$1.266.119	\$ 191.803	\$ 294.636	\$ 782.458
	<i>Reducción de costos por mejor planificación</i>		<i>\$ 614.147</i>	<i>\$ (38.443)</i>	<i>\$1.266.119</i>	<i>\$ 191.803</i>	<i>\$ 294.636</i>	<i>\$ 782.458</i>
- Depreciación		\$ -	\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50
	<i>Depreciación del software</i>		<i>\$ 50</i>	<i>\$ 50</i>	<i>\$ 50</i>	<i>\$ 50</i>	<i>\$ 50</i>	<i>\$ 50</i>
= Ingreso total		\$ -	\$ 614.097	\$ (38.493)	\$1.266.069	\$ 191.753	\$ 294.586	\$ 782.408
- Impuestos		\$ -	\$ 153.524	\$ (9.623)	\$ 316.517	\$ 47.938	\$ 73.647	\$ 195.602
= Ingresos después de impuestos		\$ -	\$ 460.573	\$ (28.869)	\$ 949.552	\$ 143.814	\$ 220.940	\$ 586.806
Ajustes								
+ Depreciación			\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50	\$ 50
- Capital neto		\$ 3.000	\$ -	\$ -				\$ (2.700)
	<i>Software</i>	<i>\$ 3.000</i>						
	<i>Valor de salvamento</i>							<i>\$ (2.700)</i>
Flujo de caja		\$ (3.000)	\$ 460.623	\$ (28.819)	\$ 949.602	\$ 143.864	\$ 220.990	\$ 589.556
VAN			\$2.221.504,37					

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los costos generados por toneladas no procesadas fueron eliminados en su totalidad con la gestión de los recursos que se propone.
- Se estableció un método de pronóstico basado en el comportamiento histórico de ventas el cual puede ser actualizado con los datos de ventas recientes.
- El error promedio del método de pronóstico usado por la empresa es del 15% mientras que el error promedio del método propuesto es del 13%.
- Los niveles de inventario de producto terminado fueron reducidos en un 51%.
- El costo promedio de operación por tonelada fue reducido en un 13% es decir a \$646,76.
- Se identificó que es más conveniente agregar un turno que pagar horas extras durante la semana.
- Al incrementar un tercer turno y aumentar el salario a cada operador en \$78, el incremento por tonelada en el costo de operación es de \$0,63.
- Se desarrolló un MPS que se enlaza con el plan agregado de producción, para que las toneladas producidas en el plan agregado sean distribuidas para los ítems que se deben procesar de acuerdo con el pronóstico y niveles de inventario mantenidos.
- Los indicadores que se propusieron compartir entre el departamento de producción y abastecimiento son el inventario estacional promedio y el tiempo de ciclo promedio.
- Con la propuesta de mejora la capacidad de producción aumentó en un 39%.

4.2 Recomendaciones

- Actualizar el pronóstico periódicamente para una mejor proyección y así poder generar el plan agregado y el MPS.
- Realizar la implementación de la herramienta propuesta para las demás líneas de producción.
- Ingresar los datos que requiere la herramienta en los espacios establecidos dentro de la misma, para su correcto funcionamiento.
- Revisar el manual de usuario de la herramienta de planeación antes de utilizarla.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Richard B. Chase, F. Robert Jacobs & Nicholas J. Aquilano. (2009). Procesos. En Administración de Operaciones (Producción y cadena de suministros) páginas (518 - 533).
- [2] Christian Becerra C. (2013). Diseño de un sistema de planeación de producción en el área de plásticos de la empresa EPI S.A.S, Universidad autónoma de occidente Facultad de Ingeniería departamento de operaciones y sistemas Sitio web: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/6878/1/T05015.pdf>
- [3] Lee J Krajewski (1987). Interfacing Aggregate Plans and Master Production Schedules via a Rolling Horizon Feedback Procedure.
- [4] D. Holmes (1995). AMPL (A Mathematical Programming Language) at the University of Michigan. Sitio web: <http://www-personal.umich.edu/~murty/510/ampl.pdf>
- [5] R. Ventakaraman and S. B. Smith (1996). Disaggregation to a rolling master production schedule with minimum batch – size production restrictions.
- [6] Sunil Chopra & Peter Meindl. Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations (6th Edición)
- [7] Jaime Macías. (2017). Planeación agregada de la cadena de suministro. Clase: gestión de la cadena de suministro sostenible. Institución: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- [8] Jaime Macías. (2017). Demand Forecasting II. Curso: Demand planning. Institución: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

APÉNDICES

APÉNDICE A
Manual de la Herramienta

Febrero, 2018

**Diseño de un Plan
Agregado y Maestro
de la producción**

ACERO S.A.

Contenido

- 1 Actualización de datos.....1
- 1.1 Ingreso de las ventas1
- 1.2 Ingreso del OEE.....3
- 2 Pronóstico.....4
- 2.1 Pronóstico Agregado4
- 2.2 Pronóstico Desagregado5
- 2.2.1 Pronóstico Desagregado Mensual.....6
- 2.2.2 Pronóstico Desagregado por Espesor6
- 2.3 Actualizar Pronóstico.....7
- 3 Plan Agregado7
- 3.1 Actualizar de Datos.....8
- 3.2 Actualizar Plan Agregado.....8
- 3.3 Ver Detalles9
- 3.4 Imprimir Plan Agregado10
- 4 MPS.....11
- 4.1 Ingresar Datos11
- 4.2 Imprimir MPS.....12
- 4.3 Ver Detalles16

1 Actualización de datos

1.1 Ingreso de las ventas



Al finalizar cada mes, se debe seleccionar VENTAS y dar clic izquierdo en ACEPTAR.

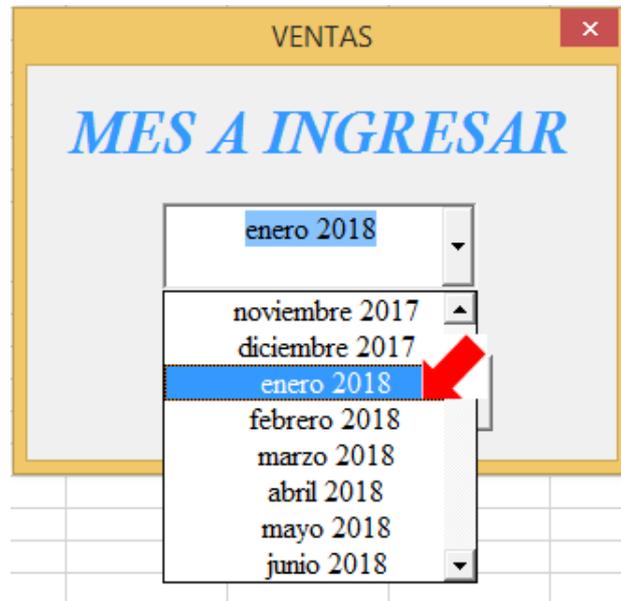
A continuación, se abrirá una hoja de excel en la cual se proceda a ingresar los SKU's vendidos con sus respectivas cantidades (es irrelevante el orden de los SKU's) y dar clic izquierdo en GUARDAR.

INGRESAR		
Mes:	enero	
Mes	SKU's vendidos	Cantidades Vendidas (unidades)
enero	MRF0011209	455
enero	MRG0011209	
enero	MRF0011210	40
enero	MRF0011211	1,216
enero	MRF0011215	26
enero	ERGB011215	1,912
enero	ERN0011214	
enero	MRC0011214	90
enero	ERG0011215	428
enero	MRC0011215	1,104
enero	ERN0011218	105
enero	ERGB011220	1,035
enero	ERG0011220	535
enero	ERN0011220	136
enero	MTF0204070	
enero	MTF0204075	462
enero	MTF2040687	1,001

HOME

GUARDAR

Y por último seleccione el MES DE VENTA que está ingresando, dar clic izquierdo en ACEPTAR.



Verificamos que se ingresó correctamente.

FAMILIA	CODIGOS	enero 2018
1 1/2 38,10 mm	MRF0011209	455
1 1/2 38,10 mm	MRG0011209	0
1 1/2 38,10 mm	MRF0011210	40
1 1/2 38,10 mm	MRF0011211	1216
1 1/2 38,10 mm	MRF0011215	26
1 1/2 38,10 mm	ERGB011215	1912
1 1/2 38,10 mm	ERN0011214	0
1 1/2 38,10 mm	MRC0011214	90
1 1/2 38,10 mm	ERG0011215	428
1 1/2 38,10 mm	MRC0011215	1104
1 1/2 38,10 mm	ERN0011218	105
1 1/2 38,10 mm	ERGB011220	1035
1 1/2 38,10 mm	ERG0011220	595
1 1/2 38,10 mm	ERN0011220	136
1 1/2 38,10 mm	MTF0204070	0
1 1/2 38,10 mm	MTF0204075	462
1 1/2 38,10 mm	MTF2040687	1001
1 1/2 38,10 mm	MTF0402008	0
1 1/2 38,10 mm	MTF0204080	0
1 1/2 38,10 mm	MTF0204085	0
1 1/2 38,10 mm	MTF0204009	308
1 1/2 38,10 mm	MTF0204011	1

1.2 Ingreso del OEE

Al finalizar cada mes, se debe seleccionar OEE y dar clic izquierdo en ACEPTAR.



A continuación, se abrirá una hoja de excel en la cual proceda a ingresar la eficiencia que se obtuvo de la máquina 4KU en dicho mes.

HOME		DISPONIBILIDAD	RENDIMIENTO	CALIDAD	EFICIENCIA TOTAL (OEE)
	PROMEDIO en %	39.87%	77.97%	97.59%	30.42%
	PROMEDIO	40	78	98	30.4
	DESVEST	5	7	1	5.12
	COEF. VAR	0.13	0.09	0.01	0.17
2017	ENERO	41.4	77.9	97.9	32%
	FEBRERO	41.2	72.5	97.5	29%
	MARZO	40.0	68.5	98.1	27%
	ABRIL	35.1	81.4	97.0	28%
	MAYO	30.1	66.6	96.9	19%
	JUNIO	40.3	71.5	96.8	28%
	JULIO	48.4	86.3	98.5	41%
	AGOSTO	49.5	74.6	98.1	36%
	SEPTIEMBRE	40.3	89.7	97.6	35%
	OCTUBRE				
	NOVIEMBRE				
	DICIEMBRE				

Indicador 2017

Promedio (%)

30.59

2. Pronóstico

Al dar clic izquierdo en el botón PRONÓSTICO, aparecerá la siguiente ventana.



2.1 Pronóstico Agregado



Al dar clic izquierdo en el botón PRONÓSTICO AGREGADO, nos presentará una hoja de excel con los años pronosticados, el número de periodos considerados para el cálculo del pronóstico, la demanda real, la demanda pronosticada y medidores del error del pronóstico utilizado.

HOME

VENTANA PRONÓSTICO

IMPRIMIR

PRONÓSTICOS AGREGADO

Años	Periodos	Demanda Real (Toneladas)	Demanda Pronosticada (Toneladas)	Error E_t	Absolute Error A_t	Mean Squared Error MSE _t	MAD _t	% Error	MAPE _t	TS _t
mayo 2016	29	1723	1,791	69	68.65	83026.73	206.55	3.99	14.49	6.13
junio 2016	30	1681	1,809	128	128.05	80805.71	203.93	7.62	14.26	6.84
julio 2016	31	1683	1,827	144	144.18	78869.69	202.01	8.57	14.08	7.62
agosto 2016	32	2229	1,845	-385	384.66	81028.95	207.71	17.26	14.18	5.56
septiembre 2016	33	2108	1,862	-246	245.68	80402.56	208.86	11.65	14.10	4.35
octubre 2016	34	2161	1,880	-281	280.93	80358.95	210.98	13.00	14.07	2.97
noviembre 2016	35	1561	1,898	337	336.68	81301.71	214.58	21.56	14.28	4.49
diciembre 2016	36	1799	1,916	117	117.05	79423.91	211.87	6.51	14.07	5.10
enero 2017	37	2036	1,934	-102	102.44	77560.92	208.91	5.03	13.82	4.69
febrero 2017	38	1716	1,951	235	235.39	76977.96	209.61	13.72	13.82	5.79
marzo 2017	39	2174	1,969	-205	204.84	76080.08	209.48	9.42	13.71	4.82
abril 2017	40	2060	1,987	-73	73.18	74311.97	206.08	3.55	13.45	4.54
mayo 2017	41	1972	2,005	33	33.09	72526.2	201.86	1.68	13.16	4.80
junio 2017	42	2292	2,022	-269	269.03	72522.63	203.46	11.74	13.13	3.44
julio 2017	43	1978	2,040	62	62.20	70926.02	200.17	3.14	12.90	3.81
agosto 2017	44	2544	2,058	-486	485.83	74678.4	206.66	19.10	13.04	1.34
septiembre 2017	45	2266	2,076	-190	190.42	73824.67	206.30	8.40	12.94	0.42
octubre 2017	46		2,094							
noviembre 2017	47		2,111							
diciembre 2017	48		2,129							
enero 2018	49		2,147							

*En esta hoja de excel tenemos la opción de generar un archivo PDF del pronóstico de forma agregado, solo dando clic izquierdo en el botón IMPRIMIR.

2.2 Pronóstico Desagregado



2.2.1 Pronóstico Desagregado Mensual

Al dar clic izquierdo en el botón PRONÓSTICO MENSUAL, se desplazar una lista con la demanda pronosticada de cada SKU de forma mensual (para cada espesor, presentación y calidad).

HOME
VENTANA PRONÓSTICO
IMPRIMIR

PRONÓSTICOS DESAGREGADOS

PRONÓSTICO POR ESPESOR
PRONÓSTICO MENSUAL

Espesor	Presentación	CALIDAD	Código	Toneladas Pronosticadas
0.7	LF	A		5
		1 1/2 38,10 mm	MTF0204070	5
			Mes 1	0
			Mes 2	1
			Mes 3	1
			Mes 4	1
			Mes 5	1
			Mes 6	1
0.75	LF	A		96
		1 1/2 38,10 mm	MTF0204075	58
			Mes 1	4
			Mes 2	10
			Mes 3	10
			Mes 4	11
			Mes 5	11
			Mes 6	12
		1 1/2 38,10 mm	MTF2040687	38
			Mes 1	3
			Mes 2	7
			Mes 3	7
			Mes 4	7

2.2.2 Pronóstico Desagregado por Espesor

Al dar clic izquierdo en el botón PRONÓSTICO POR ESPESOR, nos mostrará una lista de las toneladas pronosticadas por espesor, presentación y calidad.

HOME
VENTANA PRONÓSTICO
IMPRIMIR

PRONÓSTICOS DESAGREGADOS

PRONÓSTICO POR ESPESOR
PRONÓSTICO MENSUAL

Espesor	Presentación	CALIDAD	Código	Toneladas Pronosticadas
0.7	LF	A		5
0.75	LF	A		96
0.8	LF	A		24
0.85	LF	A		5
0.9	LF	A		54
	GB	A		1
1.0	LF	A		5
1.1	LF	A		193
1.2	LC	A		98
	LF	A		0
1.4	LC	A		31
	LF	A		73
1.5	LC	A		1172
	LC	B		387
	LF	A		38
	GB	A		525
	GB	B		81
1.8	LC	A		83
	LC	B		201
2.0	LC	A		1429
	LC	B		2591

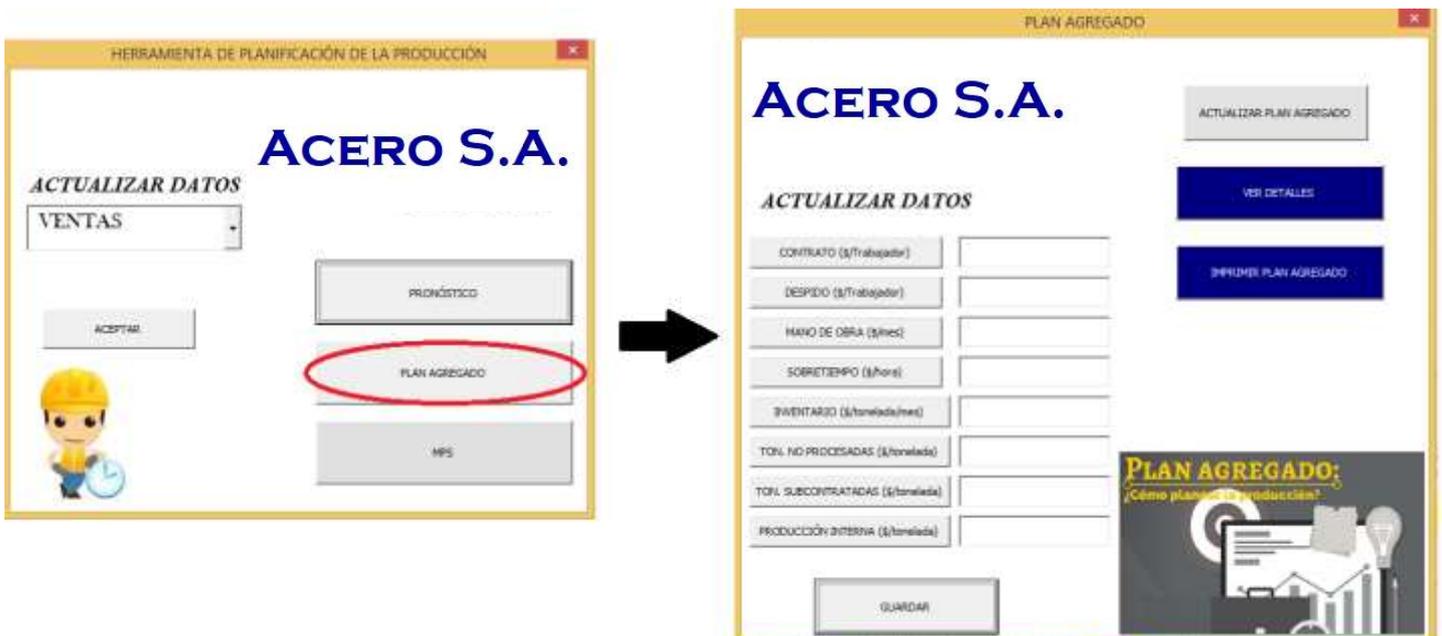
*En esta hoja de excel tenemos la opción de generar un archivo PDF del pronóstico desagregado, solo dando clic izquierdo en el botón IMPRIMIR.

2.3 Actualizar Pronóstico

Si desea actualizar el pronóstico con las nuevas ventas ingresadas debe dar clic izquierdo en el botón ACTUALIZAR PRONÓSTICO, y automáticamente se actualizará tanto el pronóstico agregado como el desagregado.



3 Plan Agregado



Al dar clic izquierdo en el botón PLAN AGREGADO, aparecerá la siguiente ventana.

3.1 Actualizar de Datos

Si desea actualizar algunos de los rubros incluidos en el plan agregado se debe colocar el valor en el rubro deseado y dar clic izquierdo en GUARDAR.

PLAN AGREGADO

ACERO S.A.

ACTUALIZAR PLAN AGREGADO

VER DETALLES

IMPRIMIR PLAN AGREGADO

ACTUALIZAR DATOS

CONTRATO (\$/Trabajador)	1240
DESPIDO (\$/Trabajador)	
MANO DE OBRA (\$/mes)	
SOBRETIEPO (\$/hora)	
INVENTARIO (\$/tonelada/mes)	
TON. NO PROCESADAS (\$/tonelada)	
TON. SUBCONTRATADAS (\$/tonelada)	
PRODUCCIÓN INTERNA (\$/tonelada)	

GUARDAR

PLAN AGREGADO:
¿Cómo planear la producción?

3.2 Actualizar Plan Agregado

Si desea actualizar el plan agregado para los próximos meses, primero debe de actualizar el pronóstico (ver subtítulos 2.3) luego dar clic izquierdo en el botón ACTUALIZAR PLAN AGREGADO.

PLAN AGREGADO

ACERO S.A.

ACTUALIZAR PLAN AGREGADO

VER DETALLES

IMPRIMIR PLAN AGREGADO

ACTUALIZAR DATOS

CONTRATO (\$/Trabajador)	
DESPIDO (\$/Trabajador)	
MANO DE OBRA (\$/mes)	
SOBRETIEPO (\$/hora)	
INVENTARIO (\$/tonelada/mes)	
TON. NO PROCESADAS (\$/tonelada)	
TON. SUBCONTRATADAS (\$/tonelada)	
PRODUCCIÓN INTERNA (\$/tonelada)	

GUARDAR

PLAN AGREGADO:
¿Cómo planear la producción?

3.3 Ver Detalles

PLAN AGREGADO

ACERO S.A.

ACTUALIZAR PLAN AGREGADO

ACTUALIZAR DATOS

CONTRATO (\$/Trabajador)

DESPIDO (\$/Trabajador)

MANO DE OBRA (\$/mes)

SOBRETIEDO (\$/hora)

INVENTARIO (\$/tonelada/mes)

TON. NO PROCESADAS (\$/tonelada)

TON. SUBCONTRATADAS (\$/tonelada)

PRODUCCIÓN INTERNA (\$/tonelada)

GUARDAR

VER DETALLES

IMPRIMIR PLAN AGREGADO

Si desea visualizar la plantilla que se utiliza para los cálculos del plan agregado, debe dar clic izquierdo en el botón VER DETALLES.

HOME		IMPRIMIR		Plan Agregado de Producción							DATOS DE ENTRADA				
VARIABLES DE DECISIÓN															
Period	Wt	Lt	Wt	Ot	It	St	Ct	Pt	Ot	Demanda procesada (Toneladas)	Inventario total	Safety Stock	Inventario desahogado	Cantidad max a subcontratar	
	# Contratados	# Despidos	Mano de Obra (turnos)	Sobretiempo	Inventario	# Toneladas No Procesadas	# Toneladas subcontradas	Producción interna	Toneladas Requeridas						
0	0	0	2	0	2000	0	0	0	0		2000				
1	-	-	2.00	-	919.43	-	-	745.19	1.885.76	1.840.4	919.42	217.03	702.39	296.00	
2	1.00	-	3.00	-	919.43	-	-	1.843.03	1.843.03	1.788.7	919.42	217.03	702.39	296.00	
3	-	-	3.00	-	919.43	-	-	1.895.85	1.895.85	1.850.2	919.42	217.03	702.39	296.00	
4	-	-	3.00	-	919.43	-	7.74	2.016.29	2.024.02	1.975.3	919.42	217.03	702.39	296.00	
5	-	-	3.00	-	919.43	-	15.97	2.016.29	2.032.26	1.983.3	919.42	217.03	702.39	296.00	
6	-	-	3.00	-	919.43	-	108.30	2.016.29	2.119.58	2.048.6	919.42	217.03	702.39	296.00	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

*En esta hoja de excel tenemos la opción de generar un archivo PDF del resumen del plan agregado, solo dando clic izquierdo en el botón IMPRIMIR.

3.4 Imprimir Plan Agregado

PLAN AGREGADO

ACERO S.A.

ACTUALIZAR PLAN AGREGADO

VER DETALLES

IMPRIMIR PLAN AGREGADO

ACTUALIZAR DATOS

CONTRATO (\$/trabajador)

DESPIDO (\$/trabajador)

MANO DE OBRA (\$/mes)

SOBRETENPO (\$/hora)

INVENTARIO (\$/tonelada/mes)

TON. NO PROCESADAS (\$/tonelada)

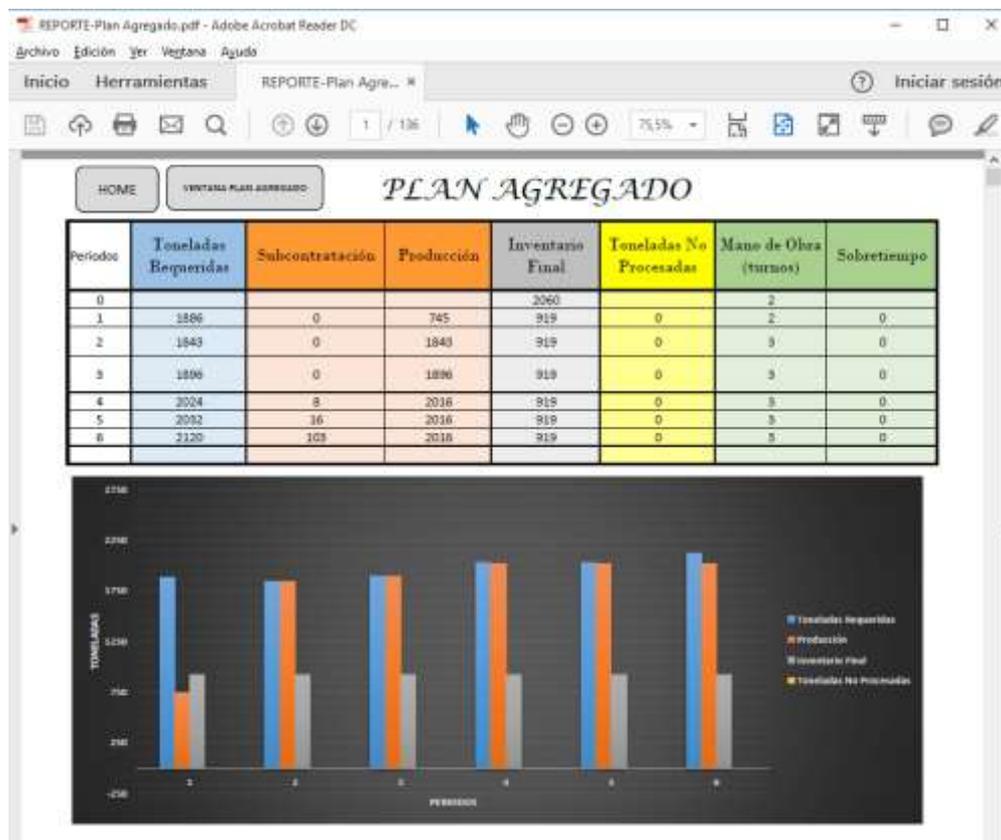
TON. SUBCONTRATADAS (\$/tonelada)

PRODUCCIÓN INTERNA (\$/tonelada)

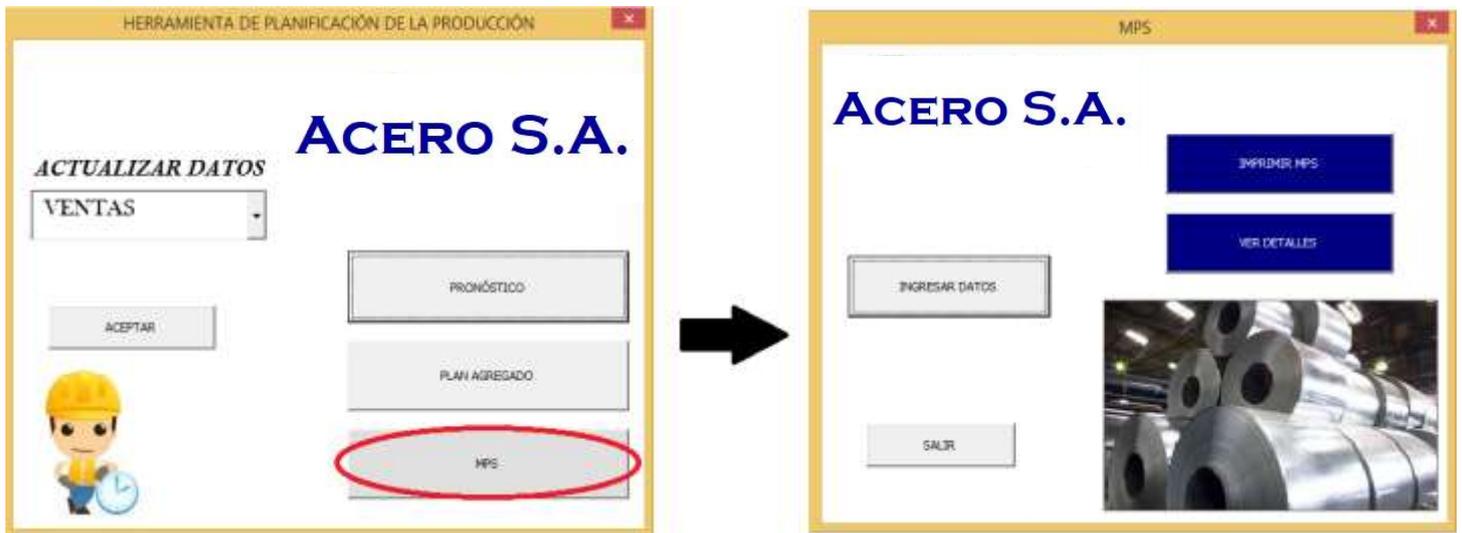
GUARDAR

PLAN AGREGADO:
¿Cómo planear la producción?

Al dar clic izquierdo en el botón IMPRIMIR PLAN AGREGADO, nos mostrará un archivo PDF del resumen del plan en un horizonte de 6 meses.



4 MPS



Al dar clic izquierdo en el botón MPS, aparecerá la siguiente ventana.

4.1 Ingresar Datos



Al dar clic izquierdo en el botón INGRESAR DATOS, nos presentará una hoja de excel con los STOCK DE SEGURIDAD, TAMAÑO DE LOTE e INVENTARIO INICIAL de todos los SKU's.

HOME						
VENTANA MPS		FAMILIA	CODIGOS	STOCK DE SEGURIDAD	TAMAÑO DE LOTE	INVENTARIO INICIAL
1	1 1/2 38,10 mm	MRF001209		0,10	3,47	0,00
2	1 1/2 38,10 mm	MFG001209		0,10	2,65	0,00
3	1 1/2 38,10 mm	MRF001210		0,46	3,98	1,32
4	1 1/2 38,10 mm	MRF001211		1,11	23,21	0,03
5	1 1/2 38,10 mm	MRF001215		0,32	1,38	0,00
6	1 1/2 38,10 mm	ERGB011215		8,16	160,85	0,14
7	1 1/2 38,10 mm	ERN001214		0,17	1,27	0,00
8	1 1/2 38,10 mm	MFC001214		0,19	0,68	0,00
9	1 1/2 38,10 mm	ERGB011215		6,59	109,72	0,45
10	1 1/2 38,10 mm	MFC001215		7,72	138,89	20,69
11	1 1/2 38,10 mm	ERN001218		1,29	20,01	5,28
12	1 1/2 38,10 mm	ERGB011220		7,95	177,66	0,00
13	1 1/2 38,10 mm	ERGB011220		10,08	205,69	0,00
14	1 1/2 38,10 mm	ERN001220		9,53	177,63	61,61
15	1 1/2 38,10 mm	MTF0204070		0,45	7,09	0,00
16	1 1/2 38,10 mm	MTF0204075		3,02	64,13	0,00
17	1 1/2 38,10 mm	MTF2040687		3,29	41,92	0,00
18	1 1/2 38,10 mm	MTF0402008		0,02	0,39	0,00
19	1 1/2 38,10 mm	MTF0204080		0,60	14,72	0,00
20	1 1/2 38,10 mm	MTF0204085		0,01	0,41	0,00
21	1 1/2 38,10 mm	MTF0204009		5,77	75,79	0,27
22	1 1/2 38,10 mm	MTF0204011		4,91	117,77	0,01
23	1 1/2 38,10 mm	MTC0204012		2,71	49,28	0,00
24	1 1/2 38,10 mm	MTF0204014		0,78	26,30	3,16
25	1 1/2 38,10 mm	MTF0204015		0,04	0,70	0,00
26	1 1/2 38,10 mm	ETGB402015		4,67	88,51	0,02
27	1 1/2 38,10 mm	ETN0204014		0,96	33,62	0,00
28	1 1/2 38,10 mm	ETG0204015		0,00	0,70	0,00
29	1 1/2 38,10 mm	ETN0204015		16,41	339,75	2,83
30	1 1/2 38,10 mm	ETGB204020		2,60	57,97	1,73
31	1 1/2 38,10 mm	ETG0204020		0,04	0,91	0,00

4.2 Imprimir MPS



Al dar clic izquierdo en el botón IMPRIMIR MPS, nos mostrará un archivo PDF del resumen del plan maestro de producción en un horizonte de 6 meses.

REPORTE-MPS.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Archivo Edición Ver Ventana Ayuda

Inicio Herramientas REPORTE-MPS.pdf x Iniciar sesión

1 / 30 100%

MES 1

Estado	Familia	CODIGOS	Toneladas
	3 3/4 95,25 mm	AC07507520	451.85
	2 50,80 mm	ERG0020020	268.89

REPORTE-MPS.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Archivo Edición Ver Ventana Ayuda

Inicio Herramientas REPORTE-MPS.pdf x Iniciar sesión

6 / 30 100%

MES 2

Estado	Familia	CODIGOS	Toneladas
	3 3/4 95,25 mm	ETNC105020	205.25
	2 50,80 mm	ECN0404020	299.15
	2 50,80 mm	ERG0020015	131.79
	2 50,80 mm	ECGB404015	156.88
	2 1/2 63,50 mm	ECGB505020	164.44
	2 1/2 63,50 mm	ERG0021220	100.35
	2 1/2 63,50 mm	ECG0505020	41.28
	3 76,20 mm	ERG0030020	122.15
	1 1/2 38,10 mm	ETN0204015	339.75
	1 1/2 38,10 mm	ECN0303015	259.74

REPORTE-MPS.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Inicio Herramientas REPORTE-MPS.pdf Iniciar sesión

MES 3

Estado	Familia	CODIGOS	Toneladas
3 3/4	95,25 mm	ETNC105025	47,19
2 50,80 mm		ECN0404030	117,27
2 50,80 mm		ECG8404020	102,49
2 50,80 mm		MCF0404011	66,61
2 50,80 mm		ECG0404020	35,98
2 50,80 mm		MCC0404012	29,23
2 50,80 mm		ECN0404018	44,26
2 1/2	63,50 mm	ECG0505030	97,37
2 1/2	63,50 mm	ECG8505015	70,99
2 1/2	63,50 mm	ECNC305030	52,48
2 1/2	63,50 mm	ETN0406030	24,76
3 76,20 mm		ERG0030030	48,64
3 76,20 mm		CIGR52122	51,86
3 76,20 mm		ETNC804025	51,47
1 1/2	38,10 mm	ERG0011220	205,69
1 1/2	38,10 mm	ERG011215	160,83
1 1/2	38,10 mm	ERG011230	177,66
1 1/2	38,10 mm	ERG0011215	109,72
1 1/2	38,10 mm	ECG8303015	88,77
1 1/2	38,10 mm	MTF0204075	64,13
1 1/2	38,10 mm	MTF0204011	117,77
1 1/2	38,10 mm	ETGB402015	88,51

REPORTE-MPS.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Inicio Herramientas REPORTE-MPS.pdf Iniciar sesión

MES 4

Estado	Familia	CODIGOS	Toneladas
3 3/4	95,25 mm	4037607442	15,44
3 3/4	95,25 mm	ETC1205018	22,48
3 3/4	95,25 mm	ETN0205042	22,13
3 3/4	95,25 mm	ECG8757520	52,51
3 3/4	95,25 mm	ETC1205018	4,88
3 3/4	95,25 mm	ETC1205018	4,47
3 3/4	95,25 mm	ETC1205018	3,81
3 3/4	95,25 mm	ETC1205018	2,43
3 3/4	95,25 mm	ECN0157515	79,42
3 3/4	95,25 mm	ETC1205018	54,89
3 3/4	95,25 mm	ETC1205018	5,87
3 3/4	95,25 mm	ETN0204018	205,34
3 3/4	95,25 mm	ETN0204018	128,47
2 50,80 mm		ETN520020	42,36
2 50,80 mm		ERG020030	33,17
2 50,80 mm		ECN240425	39,91
2 50,80 mm		ETN520020	38,29
2 50,80 mm		ETN520019	38,17
2 50,80 mm		ECN440300	14,48
2 50,80 mm		ECG0404015	2,86
2 50,80 mm		ECN0404014	2,12
2 50,80 mm		ERNG02019	2,85
2 50,80 mm		ECG2404015	7,73
2 50,80 mm		ECG8404030	4,27
2 50,80 mm		ETN520015	2,52
2 50,80 mm		MRF0200115	6,88
2 50,80 mm		ETN020030	2,30
2 50,80 mm		MCF0404018	8,89
2 50,80 mm		MRF0200113	2,44
2 50,80 mm		MCF0404011	2,73
2 50,80 mm		ETN520013	18,28
2 50,80 mm		ECG0404015	6,95
2 50,80 mm		ECN0404014	3,98
2 50,80 mm		ECN0404014	3,98
2 50,80 mm		ERNG02015	1,29
2 1/2	63,50 mm	ECG2404015	17,48
2 1/2	63,50 mm	ECG0505015	19,53
2 1/2	63,50 mm	ECG0505015	17,72
2 1/2	63,50 mm	ERNG01215	4,81
2 1/2	63,50 mm	ETG004015	2,29
2 1/2	63,50 mm	ETG004015	9,29
2 1/2	63,50 mm	ERG021150	3,88
2 1/2	63,50 mm	ECG2505015	2,21

REPORTE-MPS.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Archivo Edición Ver Ventana Ayuda

Inicio Herramientas REPORTE-MPS.pdf Iniciar sesión

21 / 30 100%

MES 5

Estado	Familia	CODIGOS	Toneladas
	3 3/4 95,25 mm	ETNC105040	45.69
	2 50,80 mm	ECG0404015	0.95
	2 50,80 mm	ECN0404014	1.06
	2 50,80 mm	MCF0404014	31.65
	2 50,80 mm	ECG0404015	0.95
	2 1/2 63,50 mm	ECN0505020	411.79
	2 1/2 63,50 mm	ETN0307020	16.79
	3 76,20 mm	ETNC804020	182.39
	3 76,20 mm	ERGB030020	108.25
	3 76,20 mm	ERN0030020	77.85
	1 1/2 38,10 mm	ECN0303020	159.72
	1 1/2 38,10 mm	MRF0011215	1.38
	1 1/2 38,10 mm	MRF0011215	2.77

REPORTE-MPS.pdf - Adobe Acrobat Reader DC

Archivo Edición Ver Ventana Ayuda

Inicio Herramientas REPORTE-MPS.pdf Iniciar sesión

26 / 30 100%

MES 6

Estado	Familia	CODIGOS	Toneladas
	2 50,80 mm	ECN0404015	394.74
	2 50,80 mm	ERGB020015	147.12
	2 50,80 mm	ECG0404015	0.95
	2 50,80 mm	ECN0404014	1.06
	2 50,80 mm	MCF0404080	15.15
	2 1/2 63,50 mm	ETGB604015	5.88
	1 1/2 38,10 mm	MRC0011215	128.89
	1 1/2 38,10 mm	MRF0011210	3.98
	1 1/2 38,10 mm	MRF0011215	1.38
	1 1/2 38,10 mm	MRG0011209	2.46

4.3 Ver Detalles



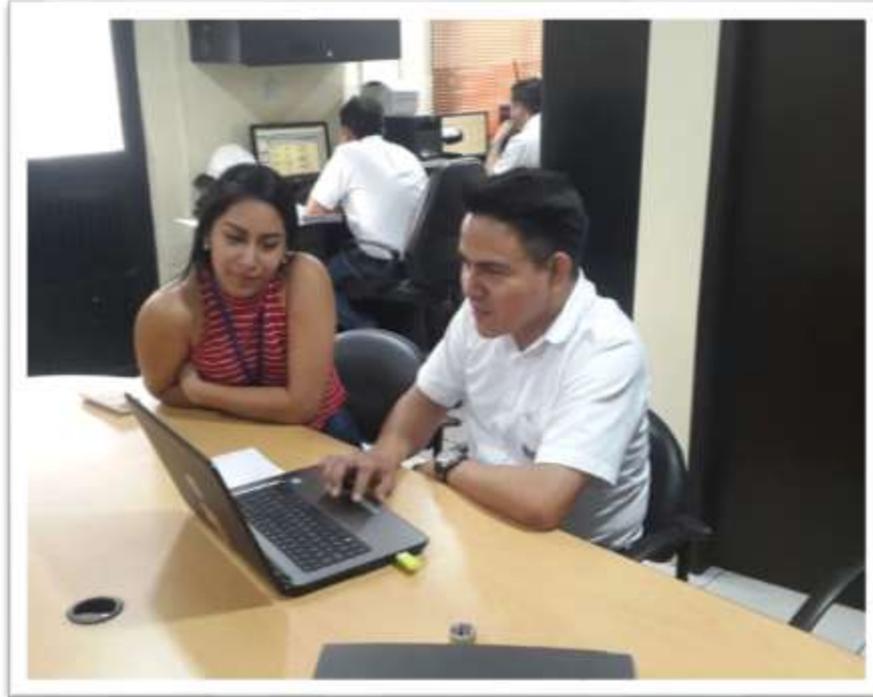
Si desea visualizar la plantilla que se utiliza para los cálculos del plan maestro de producción, debe dar clic izquierdo en el botón VER DETALLES.

HOME		VENTANA DE MPS		MPS						
Familia:	1 1/2 38,10 mm	PERIODO (MES)	1	2	3	4	5	6		
COD. IDENT. DEL ITEM:	MRF001209	INVENTARIO INICIAL	0,00	3,42	3,48	3,37	3,34	3,31		
STOCK DE SEGURIDAD:	0,50	TONELADAS PROMETIDAS	0,078	0,000	0,042	0,030	0,028	0,048		
METODO DEL TAMAÑO DE LOTE A PEDIR:	3,47	PERIODOS								
		PENDIENTES A ENTREGAR								
		NECESIDADES BRUTAS	0,018	0,000	0,014	0,021	0,024	0,048		
		NECESIDADES NETAS	0,003	-2,408	-0,376	-0,390	-0,308	-0,271		
		INVENTARIO FINAL	-3,43	-3,98	-3,37	-3,34	-3,31	-3,27		
		MPS	-3,47	-0,56	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Horas requeridas para producción	0,00	0,00	-0,00	0,00	0,00	0,00		
Familia:	1 1/2 38,10 mm	PERIODO (MES)	1	2	3	4	5	6		
COD. IDENT. DEL ITEM:	MRF001209	INVENTARIO INICIAL	0,00	3,46	3,54	3,33	3,48	3,44		
STOCK DE SEGURIDAD:	0,50	TONELADAS PROMETIDAS	0,030	0,030	0,044	0,034	0,044	0,041		
METODO DEL TAMAÑO DE LOTE A PEDIR:	3,83	PERIODOS								
		PENDIENTES A ENTREGAR								
		NECESIDADES BRUTAS	0,018	0,000	0,041	0,034	0,040	0,080		
		NECESIDADES NETAS	0,003	-2,567	-0,526	-0,492	-0,456	-0,381		
		INVENTARIO FINAL	-2,80	-2,98	-2,93	-2,89	-2,88	-2,88		
		MPS	-2,85	-0,88	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Horas requeridas para producción	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
Familia:	1 1/2 38,10 mm	PERIODO (MES)	1	2	3	4	5	6		
COD. IDENT. DEL ITEM:	MRF001210	INVENTARIO INICIAL	1,32	0,17	1,03	0,88	0,72	0,64		
STOCK DE SEGURIDAD:	0,40	TONELADAS PROMETIDAS	0,074	0,041	0,042	0,052	0,050	0,057		
METODO DEL TAMAÑO DE LOTE A PEDIR:	3,90	PERIODOS								
		PENDIENTES A ENTREGAR								

*En esta hoja de Excel podemos colocar los pedidos a entregar en su respectivo SKU.

APÉNDICE B

Implementación de la herramienta



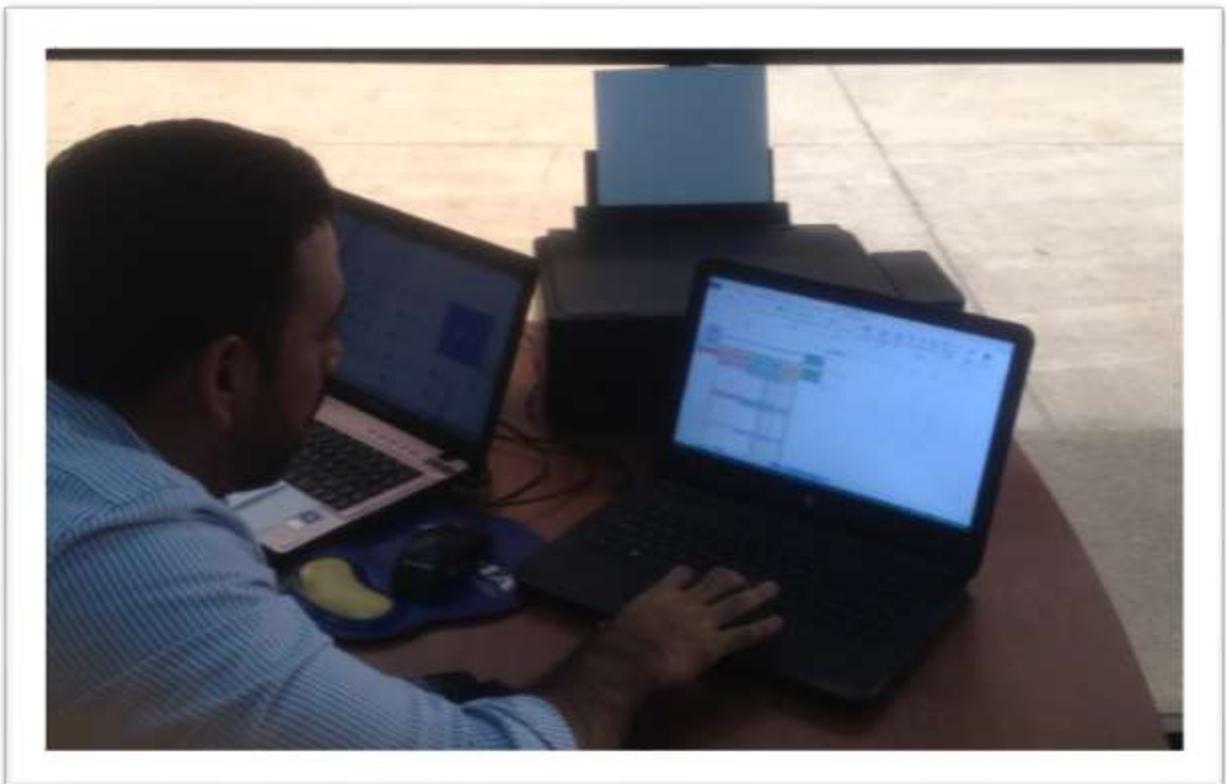
Supervisor de producción



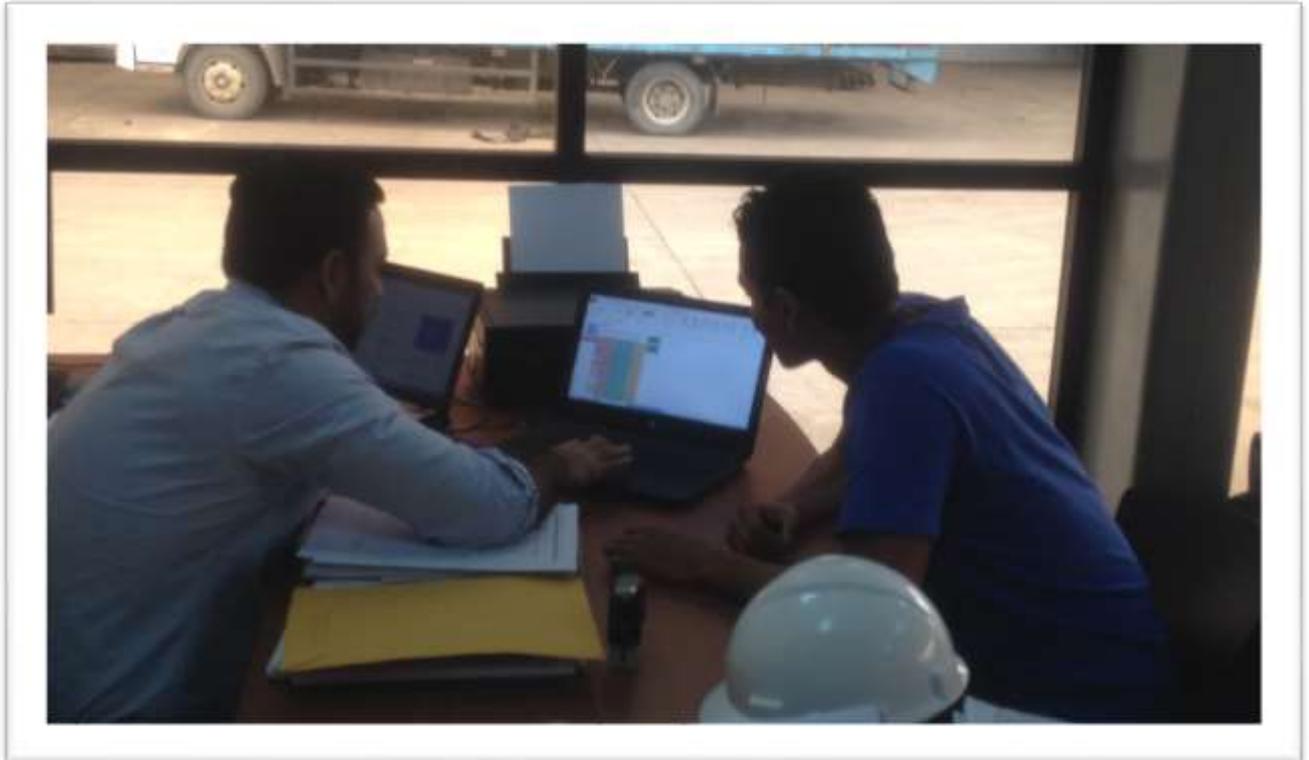
Supervisor de producción



Supervisor de producción



Jefe de planificación y suministro



Jefe de planificación y suministro