



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**REDISEÑO DE PROCESOS PARA REDUCIR COSTOS MEDIANTE LA DISMINUCIÓN DE LOS
NIVELES DE INVENTARIO DE MADERAS ARAUCO S.A.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

IGNACIO ANDRÉS SOLARI BASCUR

PROFESOR GUÍA:

CLAUDIA MORALES CISTERNAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

DANIEL VARELA LÓPEZ
JAIME ZUÑIGA CASTRO

**SANTIAGO DE CHILE
2017**

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Ingeniero Civil Industrial
POR: Ignacio Solari Bascur
FECHA: 17/11/2017
PROFESOR GUÍA: Claudia Morales Cisternas

REDISEÑO DE PROCESOS PARA REDUCIR COSTOS MEDIANTE LA DISMINUCIÓN DE LOS NIVELES DE INVENTARIO

El presente trabajo expone en detalle el desarrollo de un rediseño de procesos para reducir los costos de la empresa Maderas Arauco S.A. mediante la disminución de los niveles de inventario.

Maderas Arauco S.A. pertenece al sector industrial de la Madera Aserrada, sector industrial que ha experimentado una gran recuperación luego de la crisis Subprime en los Estados Unidos que afectó fuertemente al sector en el año 2009. Sumado a lo anterior, la empresa ha ido aumentando su capacidad productiva y esto se ve reflejado con la adquisición del 50% de una fábrica de tableros en España, aumentando en 1,45 millones de m³ su producción de tableros MDF. Dado esto es que se hace imperante mantener un nivel de inventario óptimo de manera de evitar sobre costos derivados de este, ya que, si se analiza la línea de productos MDP de la empresa para los mercados de Chile, Perú, Colombia y México, esta presenta costos de más de 4 millones de dólares solo por concepto de sobre stock.

Para llevar a cabo este rediseño, se realizará una investigación bibliográfica enfocada en la gestión de operaciones, específicamente en los sistemas de administración de inventario y rediseños de procesos. Posteriormente, se cuantificará los costos asociados al sobre stock que posee la empresa, contrastando el stock óptimo que deberían tener versus el real. A continuación, se realizará un levantamiento de procesos de la situación actual, específicamente de aquellos procesos que están relacionados con la administración de inventarios a modo de poder diagnosticar las posibles falencias y causas que provoquen esos altos niveles de stock. Luego, se rediseñarán aquellos procesos que permiten reducir los niveles de inventario sin disminuir los niveles de servicio existentes para las oficinas comerciales que posee la empresa en Chile, Perú, Colombia y México. Finalmente, se realizará una evaluación económica del impacto que tendrá este rediseño de procesos, si efectivamente se reducen los niveles de inventario sin perjudicar los niveles de servicio y los ahorros en términos monetarios que puede tener para la empresa.

El resultado de este trabajo se traduce en un rediseño de procesos enfocado en aquellos que tienen relación con la varianza de la oferta, logrando reducir los lead time de los productos, reducir los niveles de inventario anual de la empresa para las líneas de MDP y MDF en 86.925 m³, lo que se traduce en una reducción de costos por un total de USD \$1.907.603.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer, en primer lugar, a mi familia. A mi padre por darme la posibilidad de poder estudiar esta carrera y seguirme apoyando a pesar de tropezar en el camino. A mi madre por la constante preocupación y cariño. A mi hermana por siempre estar ahí, a pesar de la distancia. A mi hermano por su apoyo, que expresado a su manera, siempre lo sentí.

A mis amigos de toda la vida y a los que conocí y me acompañaron durante este largo camino, en especial a Maxi, Carlos, Franz, Feña, Andrés y Ale. Sin lugar a dudas con ustedes este camino se hizo mucho más llevadero.

Finalmente, agradecer a Maderas Arauco S.A. por abrirme las puertas para poder realizar este trabajo de memoria con ustedes, especialmente a Gerardo Barrera por la oportunidad y confianza y a Marco Cid por guiarme y aconsejarme durante este proceso.

TABLA DE CONTENIDO

1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL	1
1.1.1 Industria Forestal	1
1.1.2 Industria de Celulosa	2
1.1.3 Industria de Paneles	3
1.1.4 Industria de Madera Aserrada	4
1.2 Competencia	6
1.2.1 Celulosa	6
1.2.2 Paneles	6
1.2.3 Productos de Madera	7
1.3 Estructura Interna	7
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN	9
3. OBJETIVOS	18
3.1 Objetivo General	18
3.2 Objetivos Específicos	18
4. MARCO CONCEPTUAL	19
4.1 Sistemas de Inventario	19
4.1.1 Modelo de cantidad de pedido fija	19
4.1.2 Modelo de cantidad de pedido fija con inventarios de seguridad	20
4.1.3 Modelo de periodo fijo con inventario de seguridad	21
4.2 Pronósticos de Demanda	21
4.2.1 Promedio Móvil Simple	22
4.2.2 Promedio Móvil Ponderado	22
4.2.3 Suavización Exponencial	23
4.3 Error Porcentual Absoluto Medio	24
4.4 Modelamiento y Notación de Procesos de Negocios	24
4.5 Rediseño de Procesos	24
4.5.1 Lean	25
4.5.2 Six - Sigma	26
4.5.3 Metodología de Oscar Barros	28

5. METODOLOGÍA	30
5.1 Revisión Bibliográfica	30
5.2 Cuantificar los costos por sobre stock	30
5.3 Levantamiento de procesos existentes de planificación y producción	30
5.4 Análisis de Datos	31
5.5 Rediseño de procesos	31
5.6 Evaluación económica del rediseño	31
6. ALCANCES	32
7. DESARROLLO	33
7.1 Levantamiento de la situación actual	33
7.1.1 Estimación de demanda	33
7.1.2 Planificación de demanda (1)	33
7.1.3 Modelo optimizador “Capacity”	34
7.1.4 Planificación de demanda (2)	34
7.1.5 Programación de producción	35
7.1.6 Co-generación	35
8. SELECCIÓN DE PROCESOS A REDISEÑAR	37
8.1 Estimación de demanda	37
8.2 Holguras de planificación	39
8.3 Periodicidad de bajada de órdenes de venta	41
8.4 Co-generación de productos	41
8.5 Secuencia de productos	42
9. REDISEÑO	45
9.1 Holguras de Producción	45
9.2 Secuencia de Producción	46
10. EVALUACIÓN DEL REDISEÑO	51
10.1 Evaluación holguras de planificación	51
10.2 Evaluación secuencia de producción	53
11. CONCLUSIONES	55
12. BIBLIOGRAFIA	57
13. ANEXOS	58
ANEXO A: Análisis stock línea MDF	58

ANEXO B: BPMN Planificación Demanda	61
ANEXO C: BPMN Estimacion Ventas.....	62
ANEXO D: BPMN Modelo Capacity.....	63
ANEXO E: BPMN Programación Producción.....	64
ANEXO F: Análisis MAPE Colombia, México y Perú	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Supuestos modelo administración de inventario.....	9
Tabla 2: Resumen MDP - Chile	12
Tabla 3: Resumen MDP - Perú.....	13
Tabla 4: Resumen MDP - Colombia.....	13
Tabla 5: Resumen MDP - México	14
Tabla 6: Análisis costos Chile [USD]	15
Tabla 7: Análisis costos Perú [USD].....	15
Tabla 8: Análisis costos Colombia [USD]	15
Tabla 9: Análisis costos México [USD].....	15
Tabla 10: Comparativa margen real versus proyectado [USD]	16
Tabla 11: Clasificación ABCI.....	16
Tabla 12: Análisis MAPE línea MDP y MDF Chile	37
Tabla 13: Análisis MAPE subfamilia línea MDF Chile	37
Tabla 14: Análisis MAPE subfamilia línea MDP Chile	38
Tabla 15: Análisis MAPE por producto línea MDF Chile.....	38
Tabla 16: Análisis MAPE por producto línea MDP Chile	38
Tabla 17: Análisis días en bodega planta Teno	40
Tabla 18: Análisis días en bodega planta Trupán	40
Tabla 19: Análisis días en bodega productos sin salida planta Teno	40
Tabla 20: Análisis días en bodega productos sin salida planta Trupán	40
Tabla 21: Análisis días en control de calidad planta Teno	41
Tabla 22: Análisis co-generación planta Teno.....	42
Tabla 23: Análisis co-generación planta Trupán	42
Tabla 24: Análisis secuencia de producción [USD].....	43
Tabla 25: Matriz impacto versus factibilidad	44
Tabla 26: Itinerario nave Lirquén - Callao	45
Tabla 27: Itinerario naves mercados Colombia, México y Perú.....	45
Tabla 28: Ejemplo rediseño holguras de planificación.....	46
Tabla 29: Análisis reducción lead time	51
Tabla 30: Stock óptimo Colombia aplicando rediseño [USD].....	52
Tabla 31 : Stock óptimo Colombia aplicando rediseño [USD].....	52
Tabla 32: Stock óptimo Colombia aplicando rediseño [USD].....	52
Tabla 33: Resumen MDF - Chile	58
Tabla 34: Resumen MDF - Colombia	59
Tabla 35: Resumen MDF - México.....	59
Tabla 36: Resumen MDF - Perú.....	60
Tabla 37: Análisis MAPE línea MDP y MDF Colombia	65
Tabla 38: Análisis MAPE subfamilia línea MDF Colombia	65
Tabla 39: Análisis MAPE subfamilia línea MDP Colombia	65
Tabla 40: Análisis MAPE por producto línea MDF Colombia	66
Tabla 41: Análisis MAPE por producto línea MDP Colombia	66
Tabla 42: Análisis MAPE línea MDP y MDF México.....	67
Tabla 43: Análisis MAPE subfamilia línea MDF México.....	67
Tabla 44: Análisis MAPE subfamilia línea MDP México	67

Tabla 45: Análisis MAPE por producto línea MDF México	68
Tabla 46: Análisis MAPE por producto línea MDP México.....	68
Tabla 47: Análisis MAPE línea MDP y MDF Perú	69
Tabla 48: Análisis MAPE subfamilia línea MDF Perú.....	69
Tabla 49: Análisis MAPE subfamilia línea MDP Perú.....	69
Tabla 50: Análisis MAPE por producto línea MDF Perú	69
Tabla 51: Análisis MAPE por producto línea MDP Perú	70

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Evolución de las exportaciones de celulosa chilena.....	3
Ilustración 2: Producción madera 2016 por tipo de producto.....	6
Ilustración 3: Estructura organizacional Arauco	8
Ilustración 4: Modelo administración de inventario.....	10
Ilustración 5: MDP - Chile.....	12
Ilustración 6: MDP - Perú	12
Ilustración 7: MDP - Colombia.....	13
Ilustración 8: MDP - México	13
Ilustración 9: Vista base de datos planilla rediseño secuencia de producción	48
Ilustración 10: Vista hoja ingreso de órdenes de venta	48
Ilustración 11: Vista hoja con órdenes de venta ingresadas.....	49
Ilustración 12: Vista hoja plan de producción	50
Ilustración 13: Carga mensual actual prensa Wemhöner	53
Ilustración 14: Carga mensual actual prensa Wemhöner	53
Ilustración 15: MDF - Chile.....	58
Ilustración 16: MDF - Colombia.....	58
Ilustración 17: MDP - México	59
Ilustración 18: MDF - Perú.....	60
Ilustración 20: BPMN planificación demanda	61
Ilustración 21: BPMN estimación ventas	62
Ilustración 22: BPMN modelo capacity	63
Ilustración 23: BPMN programación producción.....	64

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL SECTOR INDUSTRIAL

Arauco es una de las mayores empresas forestales del mundo, ubicándose a diciembre de 2016 entre los mayores productores de celulosa de mercado a nivel mundial y ocupando un lugar relevante dentro de los productores de madera aserrada y paneles. Hoy Arauco es la mayor compañía forestal latinoamericana y uno de los productores de menor costo a nivel global¹, tanto de celulosa de fibra larga como de celulosa de fibra corta. A nivel nacional, Arauco es líder en exportaciones de productos forestales en términos de ingresos por ventas. La Compañía cuenta con operaciones industriales y activos forestales en Chile, Argentina, Brasil, Uruguay (a través del joint venture Montes del Plata), Estados Unidos y Canadá, garantizando materia prima de calidad y en forma sustentable. Además, durante el año 2016 se adquirió el 50% de la empresa SONAE (con presencia en España, Portugal, Alemania y Sudáfrica) A continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los sectores industriales donde la Compañía opera.

1.1.1 Industria Forestal

Según datos de la FAO, la producción total de madera en el mundo se mantuvo en aproximadamente 3.700 millones de m³ durante el año 2015¹, de los cuales 50,2% correspondieron a madera utilizada como combustible, 22,9% a madera utilizada para la producción de chapas y rollizos aserrables, 17,1% a madera pulpable y el resto a otros usos. Europa, Norteamérica y Asia son los principales demandantes de productos forestales industriales, concentrando entre ellos aproximadamente el 80% de la demanda global por estos productos.

Los principales países productores de madera en América del Sur corresponden a Brasil, Chile y Argentina, que en conjunto concentraron el 89,8% de la producción total de madera industrial en la región durante el año 2015. Según datos de la FAO al año 2015, Chile cuenta con 17,7 millones de hectáreas cubiertas de bosques, lo que representa cerca de un quinto del territorio nacional, y se encuentran ubicadas principalmente entre la VII y la XII región, siendo las principales especies productivas el pino radiata y los eucaliptus globulus y nitens. El pino radiata es originario del sur de California y fue introducido a Chile a finales del siglo XIX. Por su parte los eucaliptos son originarios de Australia y fueron traídos a Chile en la época de apogeo de la minería de carbón en la VIII Región para hacer de soportes en los túneles.

El sector forestal se posiciona como uno de los pilares fundamentales de la economía de Chile, con una participación del 2,6% del PIB nacional el año 2015. La industria destaca por su aporte social y económico, generando cerca de 120.000 empleos

¹ Memoria anual Arauco S.A. 2016.

directos y una cifra similar de indirectos en las áreas de silvicultura y cosecha, industria primaria, secundaria y servicios, siendo la principal fuente de ingresos para muchas familias de zonas rurales. Asimismo, es el tercer exportador y generador de divisas para el país. En los últimos 13 años, ha producido, en promedio, el 7,9% del total anual de los ingresos por exportaciones del país con ventas a más de 100 mercados en los cinco continentes, destacando Estados Unidos, China y Japón como los mercados más importantes. Las exportaciones forestales en Chile pueden dividirse en: a) productos de extracción como rollizos aserrables y pulpables; b) productos primarios como madera aserrada, tableros, celulosa, papel periódico y astillas; c) productos secundarios como madera elaborada, molduras, marcos, muebles, partes y piezas de madera; y, d) manufacturas de papel y cartón. Durante 2015 las exportaciones forestales alcanzaron los US\$ 5.205 millones, lo que significó una disminución de 4% respecto de 2014.

1.1.2 Industria de Celulosa

La celulosa es uno de los commodities de mayor presencia en los productos de uso cotidiano en la vida de las personas. La celulosa es obtenida de la fibra de madera y utilizada para la manufactura de papel de impresión y escritura, papel higiénico y sanitario, cartulinas y material de empaque.

Según el grado de elaboración, se puede distinguir entre celulosa cruda o blanqueada, y según la especie de la cual provenga se clasifica en celulosa de fibra larga (coníferas) y fibra corta (como el eucalipto), los cuales poseen distintos precios según su calidad y características específicas. La celulosa obtenida de pino radiata posee fibras largas y es utilizada para otorgar durabilidad y fuerza a los productos de papel. La celulosa blanqueada es utilizada principalmente para la producción de papel de impresión, escritura y papel tissue. La celulosa no blanqueada, o cruda, es utilizada principalmente para la producción de material de empaque, filtros, para la producción de fibrocemento, entre otros. La celulosa producida de maderas duras, como la de eucalipto, tiene fibras cortas y es usada en combinación con la de fibra larga para la producción de productos de papel.

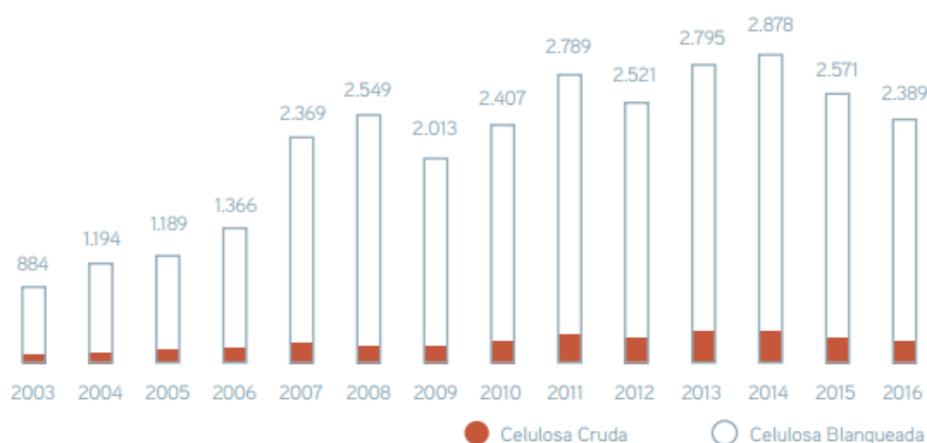
La industria de la celulosa se caracteriza por los altos requerimientos de inversión inicial en activos fijos y la necesidad de contar con una base de suministro de materia prima. Las economías de escala también son un elemento característico de esta industria. Para aprovecharlas, las empresas deben construir plantas de gran capacidad, que requieren para su operación de sofisticadas tecnologías.

Chile continúa posicionado en el mundo como un productor relevante de celulosa, ocupando el cuarto lugar entre las naciones proveedoras de celulosa después de Brasil, Estados Unidos y Canadá, y presentando al mismo tiempo, uno de los más bajos costos de producción. Actualmente, la capacidad de producción de celulosa en Chile representa cerca del 7% de la oferta mundial. De la producción de celulosa química en Chile el 2015, aproximadamente un 90% se exportó, siendo éste el negocio más

importante de la industria forestal. El siguiente gráfico muestra la evolución de las exportaciones provenientes de Chile de celulosa cruda y blanqueada:

Ilustración 1: Evolución de las exportaciones de celulosa chilena

EVOLUCION DE LAS EXPORTACIONES DE CELULOSA CHILENA (US\$ millones FOB)



Fuente: Banco Central de Chile

1.1.3 Industria de Paneles

Se denomina paneles a los tableros compuestos por elementos de madera de varios tamaños, desde chapas hasta fibras, las cuales se mezclan con químicos y resinas con los que se forma una pasta que, al ser trabajada con calor, adquiere una forma sólida, similar en características a la madera, pero con significativas ventajas en precios.

En la industria de paneles se pueden distinguir tres grandes categorías: tableros de terciado, tableros aglomerados y tableros de fibra (MDF y HB). El mercado de paneles está constituido principalmente por los siguientes productos:

- **Tableros Terciados:** Los tableros terciados son paneles fabricados con láminas continuas de madera de pino radiata unidas por medio de adhesivos fenólicos. Estos tableros se utilizan principalmente en la industria de la construcción y del mueble.
- **Chapas:** Las chapas son hojas finas de espesor uniforme que se obtiene por desenrollo de madera en rollo.
- **Tableros Aglomerados (de partículas, PB):** Los tableros aglomerados se fabrican con chips, virutas de madera y aserrín, que son mezclados con adhesivos, para luego ser prensados en grandes placas planas de diversos tamaños y espesores. Estos tableros se utilizan en distintas aplicaciones en la industria de la construcción, como cubiertas de techo, paredes, closets, y en la fabricación de muebles.

- **MDF (Medium Density Fiberboard):** Los tableros MDF se fabrican extrayendo la fibra de celulosa de los chips de madera, que luego se mezcla con adhesivos y posteriormente se prensa en grandes placas planas de distintos formatos y espesores. El uso principal en construcción corresponde a la etapa de terminaciones a través de diferentes productos, como guardapolvos, junquillos, cornisas, marcos de puertas y muebles de cocina.
- **HDF (High Density Fiberboard o Hard Board):** Los tableros de HDF o HB se fabrican de fibras de madera de 1 milímetro de largo que se sumergen en resinas que reaccionan a una determinada temperatura para luego ser prensados. Se emplea mayormente en mueblería, aunque en el sector de construcción se aplica en revestimientos interiores, exteriores, tabiques, cielos, puertas y como elemento de decoración.
- **OSB (Oriented strand board):** Es una placa estructural de astillas o virutas de madera, orientadas en forma de capas cruzadas para aumentar su fortaleza y rigidez, unidas entre sí con resina fenólica aplicada bajo alta presión y temperatura. El tablero OSB tiene una amplia aplicación en el sector construcción de viviendas.

Esta industria, clave para el mercado de muebles, es un área promisoría y una de las que más ha evolucionado en la industria forestal chilena. El crecimiento de este rubro ha sido especialmente significativo a partir de 1986. De unas pocas plantas orientadas a fabricar hardboards y aglomerados para el mercado local, hoy se fabrican 5 tipos de tableros (incluyendo tableros OSB), con una producción total aproximada de 3,2 millones de metros cúbicos anuales, con un crecimiento anual compuesto en volumen de 5,2% en los últimos 11 años, convirtiéndose en el segundo mayor exportador de tableros de la región después de Brasil.

El mercado al cual Arauco dirige sus productos está compuesto principalmente por la Zona Sur de Latinoamérica (Chile, Perú, Argentina y Brasil, entre otros), la Zona Norte de Latinoamérica (México, Venezuela, Colombia y el Caribe, entre otros), EE.UU. y en menor medida Europa y Asia.

En la industria de paneles, al igual que en la industria de madera aserrada, ARAUCO posee oficinas comerciales en Colombia, México y Perú. Estas oficinas comerciales tuvieron ventas durante el año 2016 de 10 mil metros cúbicos en Colombia, 536 mil metros cúbicos en México y 126 mil metros cúbicos en la oficina comercial de Perú.

1.1.4 Industria de Madera Aserrada

En el 2015, la madera aserrada representó, en US\$ millones FOB, más del 13,5% del total de productos forestales exportados de Chile, y se envían a una diversidad de más de 45 mercados, destacando principalmente China, Unión Europea, México, Corea del Sur y Japón.

El mercado de madera aserrada y sus derivados en Chile abarca los siguientes productos:

- **Madera aserrada:** incluye maderas secas o verdes con aditivos contra hongos.
- **Madera elaborada o remanufacturada:** incluye madera cepillada, blocks, cutstock, finger-joint y molduras sólidas.
- **Puertas, marcos y piezas de construcción:** incluye puertas, marcos para puertas y productos para la construcción.

Esta industria se concentra en los aserraderos grandes y medianos, muchas veces integrados verticalmente, con fuentes de materia prima y procesos de transformación secundaria de la madera. Dicha integración vertical se justifica por el diferencial de precios entre la madera aserrada y elaborada (o remanufacturada), y el valor de un rollizo aserrable no procesado.

La industria de la madera aserrada y sus derivados ha logrado un gran desarrollo en los últimos años. Después de que este sector se vio afectado por la crisis Subprime en los Estados Unidos, cayendo las exportaciones locales a niveles de US\$ 429 millones en 2009, el mercado de la madera aserrada experimentó una recuperación, alcanzando las exportaciones locales US\$ 990 millones en 2014. En el año 2016 las exportaciones han disminuido a US\$ 822 millones.

En cuanto al negocio global de maderas, es decir, Paneles y Madera Aserrada, ARAUCO es uno de los principales productores de maderas, contando con 17 plantas de paneles, 9 aserraderos y 6 plantas de remanufactura, elaborando una amplia variedad de productos de madera aserrada, terciados, paneles, madera remanufacturada y molduras con distintos grados de terminación, apariencia y procesos de valor agregado, para la arquitectura, diseño, construcción, embalaje y remodelación, con una capacidad de producción de 9,7 millones de m³.

Los tableros MDF, MDP, HB y Terciados, están orientados a la industria de la mueblería y construcción, reconocidos por su variada gama, disponibilidad y calidad. La madera de ARAUCO, por otra parte, ofrece soluciones de calidad y resistencia para la industria de la construcción, mueblería y embalaje. Finalmente, las molduras ARAUCO, representadas por la marca Truchoice, están presentes como un elemento decorativo y de terminación en hogares y diversos espacios.

Ilustración 2: Producción madera 2016 por tipo de producto



Fuente: Memoria Anual Arauco 2016

1.2 Competencia

1.2.1 Celulosa

Los competidores en el mercado de la celulosa varían en función de la región geográfica y variedad de pulpa involucrada. CMPC Celulosa S.A. y Fibria Cellulose S.A. son competidores relevantes en la mayoría de las regiones geográficas. Mientras que Fibria produce celulosa de fibra corta, CMPC produce celulosa de fibra corta y larga. En Asia, también se enfrenta competencia de productores canadienses, brasileños, rusos e indonesios. En Europa, también se enfrenta competencia de productores brasileños, escandinavos y norteamericanos.

Al año 2015, el principal competidor a nivel nacional en el negocio de la celulosa, CMPC, produjo 3,1 millones de toneladas de celulosa, mientras que en el mismo año ARAUCO produjo 3,6 millones de toneladas de celulosa.

1.2.2 Paneles

Los principales competidores de ARAUCO en el mercado de paneles de terciado están ubicados en Estados Unidos, Finlandia y Rusia. En algunas regiones, ARAUCO también compite con paneles de terciados producidos en China, África y otras regiones del mundo.

Los principales competidores en el mercado de paneles MDF son: en América Latina, Duratex Wood, Masisa S.A. y otros importantes productores sudamericanos; en Norteamérica, productores locales como Roseburg Forest Products Co.; en Asia, productores malayos y chinos, y en Medio Oriente, productores europeos.

En las ventas de paneles aglomerados (PB), en el mercado sudamericano ARAUCO compite con Duratex Wood, Masisa S.A., Berneck S.A. y Fibraplac S.A. En Norteamérica, ARAUCO compite principalmente con Roseburg Forest Products Co., Temple-Inland, Kaycan Ltd. y Sonae Indústria-Canadá, SgPS, S.A.

Al año 2016, el principal competidor a nivel nacional en el negocio de paneles, MASISA S.A., poseía una capacidad nominal de producción de 5,45 millones de metros cúbicos de paneles, mientras que en el mismo año ARAUCO produjo 4,74 millones de metros cúbicos de paneles.

1.2.3 Productos de Madera

En el mercado de madera remanufacturada, los competidores principales de ARAUCO se ubican en Chile, Brasil y Estados Unidos. En madera aserrada, los competidores más relevantes provienen de Europa, Nueva Zelanda, Canadá y Chile. Creemos que nuestras eficiencias operativas, los costos logísticos competitivos, la capacidad para servir a los clientes con múltiples especificaciones, presencia geográfica en 38 países y la versatilidad de nuestro pino radiata y taeda, nos permite competir eficazmente en el mercado mundial de productos de madera.

Al año 2015, el principal competidor a nivel nacional en el negocio de remanufactura, CMPC, produjo 162 mil metros cúbicos de remanufactura, mientras que en el mismo año ARAUCO produjo 435 mil metros cúbicos.

1.3 Estructura Interna

La misión de ARAUCO se define como *“Promover un manejo forestal que sea ambientalmente apropiado, socialmente beneficioso y económicamente viable en los bosques de todo el mundo”* y su visión es *“Contribuir a mejorar la vida de las personas, desarrollando productos forestales para los desafíos de un mundo sostenible”*.

Arauco tiene una estructura organizacional muy grande y compleja que comienza con el Vicepresidente Ejecutivo a la cabeza y bajo su cargo se sitúa el Gerente General de la compañía. Luego de este, se encuentran las distintas gerencias corporativas de Arauco. En la figura 1, se puede apreciar en detalle las gerencias corporativas que conforman la compañía. El área donde se sitúa el presente trabajo de memoria pertenece a la Gerencia Corporativa Negocio Maderas y Paneles.

Ilustración 3: Estructura organizacional Arauco



Fuente: Memoria Anual Arauco 2015

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO Y JUSTIFICACIÓN

Maderas ARAUCO S.A. trabaja mediante 2 tipos de ventas, Make to Order (MTO) y Make to Stock (MTS). Las ventas MTO se realizan contra una compra ejecutada por el cliente por lo que, al momento de ser producido el producto, este se despacha directamente al cliente. Por otra parte, las ventas MTS se realizan mediante una estimación de demanda futura por lo que una vez que son producidos los productos, se envían a los centros de distribución como stock para hacer frente a posibles ventas. Actualmente, la empresa no posee un control riguroso respecto a los niveles de stock que mantiene en sus oficinas y plantas productivas ni tampoco una valorización de los posibles costos asociados a un mal manejo de los niveles de inventario. Es por esto que en una primera instancia se busca verificar mediante la implementación de un modelo de administración de inventario si es que los niveles de stock actuales de la empresa están cercanos al óptimo o presentan deficiencias.

Para la realización de este análisis, se considerarán las líneas de productos que comercializan en Chile y las oficinas comerciales de Colombia, México y Perú.

Como antecedentes relevantes para la selección del modelo de administración de inventario que se utilizara para comparar los niveles de inventario actuales, se encuentra que la empresa realiza mensualmente una revisión de los niveles de inventario en estas oficinas y en base al uso pronósticos de demanda más la proyección de los vendedores, se determina la cantidad a pedir para cada producto.

Otro antecedente relevante es el hecho de que los pedidos realizados no son recibidos en un envío único, si no que se reciben de manera parcializada a medida que avanza la producción y traslado de estos.

Adicional a lo mencionado anteriormente se utilizaron los siguientes supuestos:

Tabla 1: Supuestos modelo administración de inventario

Costo por Orden	85 [USD]	<i>Se calcula como el valor de un día de trabajo de un planificador, asumiendo un sueldo bruto de \$1.600.000.</i>
Costo de Almacenamiento	5 [USD/m2]	<i>Se asume igual para todas las oficinas comerciales según lo informado por la gerencia de planificación (año 2016).</i>
Costo de Capital	9%	<i>Valor entregado por la empresa para el año 2016.</i>

Distribución de Probabilidad de la Demanda	Normal	Se cuenta con datos agregados a nivel mensual, es decir, 24 datos por oficina comercial
Margen Integrado	Margen Chile + 3%	Se asume un 3% de margen para las oficinas comerciales de Perú, Colombia y México según lo informado por la gerencia de planificación.
Nivel de Servicio	97%	Según las metas impuestas por la empresa orientado a satisfacción de demanda (m3).

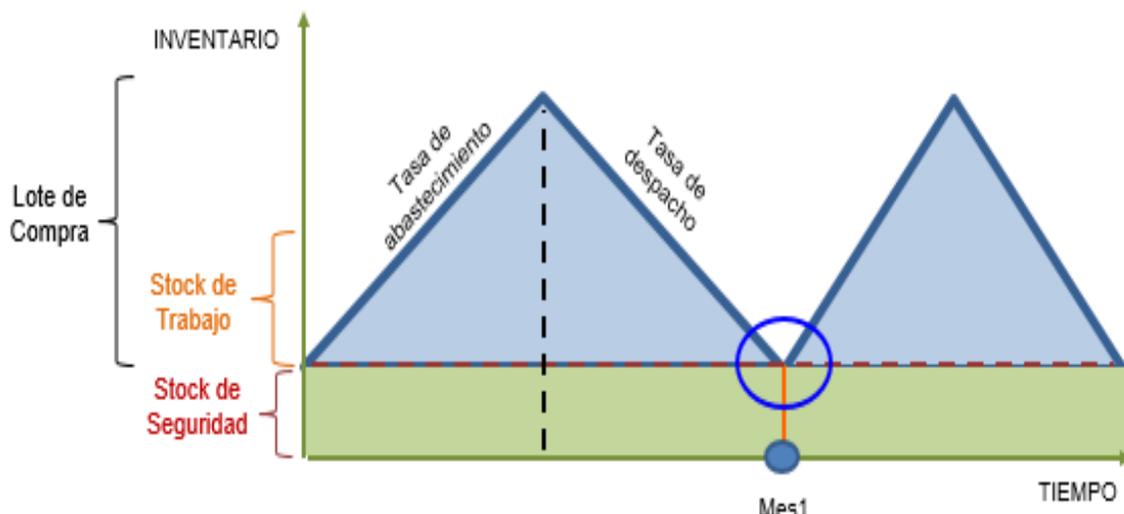
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo lo anterior en cuenta, se seleccionó un modelo de administración de inventario de periodo fijo y con reposición parcializada para poder estimar los niveles óptimos de inventario que debería poseer Maderas ARAUCO S.A. y compararlos con los reales. A continuación, se detalla el modelo seleccionado²:

Ilustración 4: Modelo administración de inventario

Stock Óptimo

Metodología Reabastecimiento no instantáneo



Fuente: Elaboración propia.

² Chase, Richard B; Jacobs, F.Robert; Aquilano, Nicholas J. 2009. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro.

Donde,

$$ST = \frac{I}{2} \sqrt{\frac{2 \times Dm \times S}{I \times C}} \sqrt{\frac{p}{p-d}}$$

- ST : Stock de trabajo (unidades)
- Dm : Demanda Anual de artículos (unidades/año)
- S : Costo de emitir una orden (\$)
- C : Valor unitario del artículo (\$/unidad)
- I : Costo del manejo como % del valor del artículo (%/año)
- p : Tasa de abastecimiento
- d : Tasa de despacho

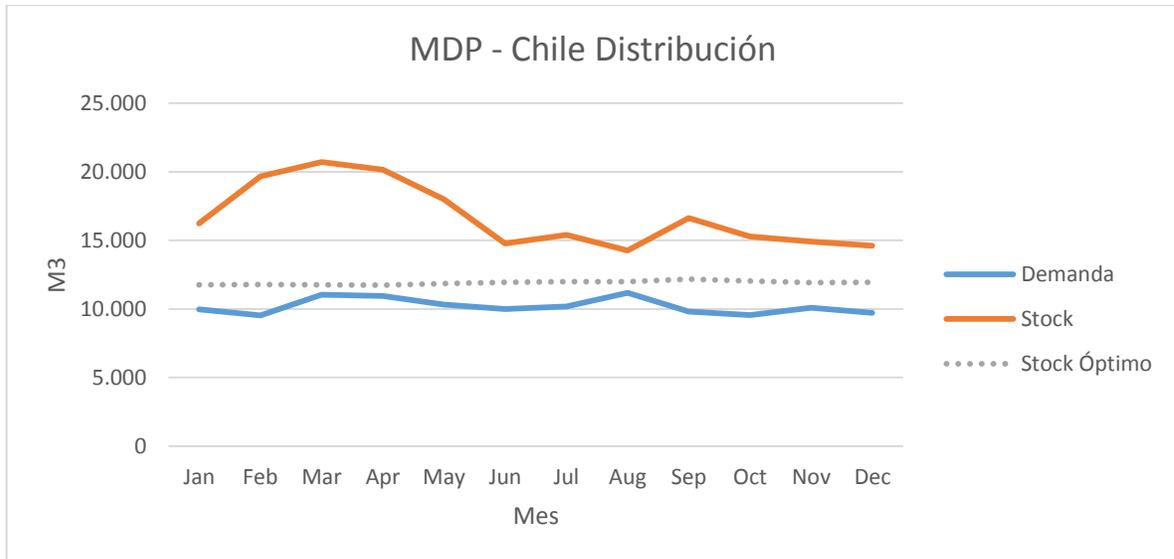
$$Ss = Z \times \sigma = Z \times \sqrt{(\sigma_d^2 \times LT + \sigma_{LT}^2 \times D^2)}$$

- Ss : Stock mínimo o de seguridad
- Z : Factor de seguridad según distribución normal
- σ : Desviación estándar combinada de la demanda y LT
- D : Promedio de la demanda (unidades/tiempo)
- L : Promedio del lead time del proveedor (tiempo)
- σ_d : Desviación estándar de la demanda
- σ_{LT} : Desviación estándar del lead time

La información utilizada para evaluar los niveles de inventario corresponde a la demanda de los años 2015 y 2016 para las ventas nacionales y oficinas comerciales de Colombia, México y Perú.

A continuación, se muestra la demanda real y el stock real que tuvo la empresa para la línea de productos MDP en sus oficinas comerciales de Colombia, México y Perú.

Ilustración 5: MDP - Chile



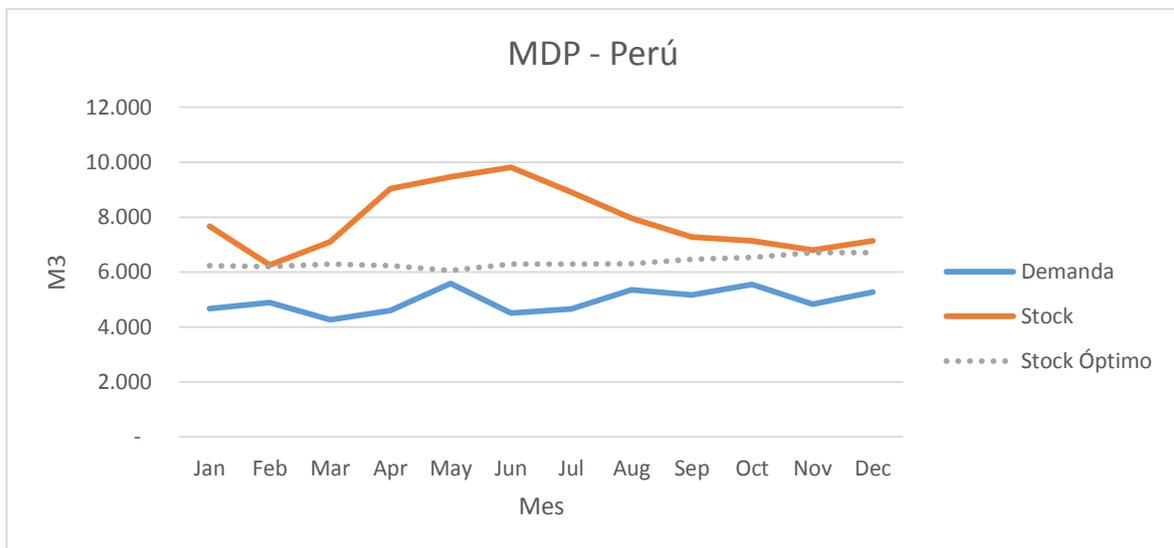
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2: Resumen MDP - Chile

MDP	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Stock [m3]	16.239	19.670	20.705	20.166	17.990	14.769	15.406	14.274	16.630	15.292	14.915	14.623	200.679
Stock óptimo [m3]	11.786	11.809	11.792	11.761	11.892	11.983	12.021	12.037	12.202	12.075	11.949	11.981	143.287
Sobre stock [m3]	4.453	7.861	8.913	8.405	6.097	2.787	3.385	2.237	4.429	3.217	2.966	2.642	57.392

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 6: MDP - Perú



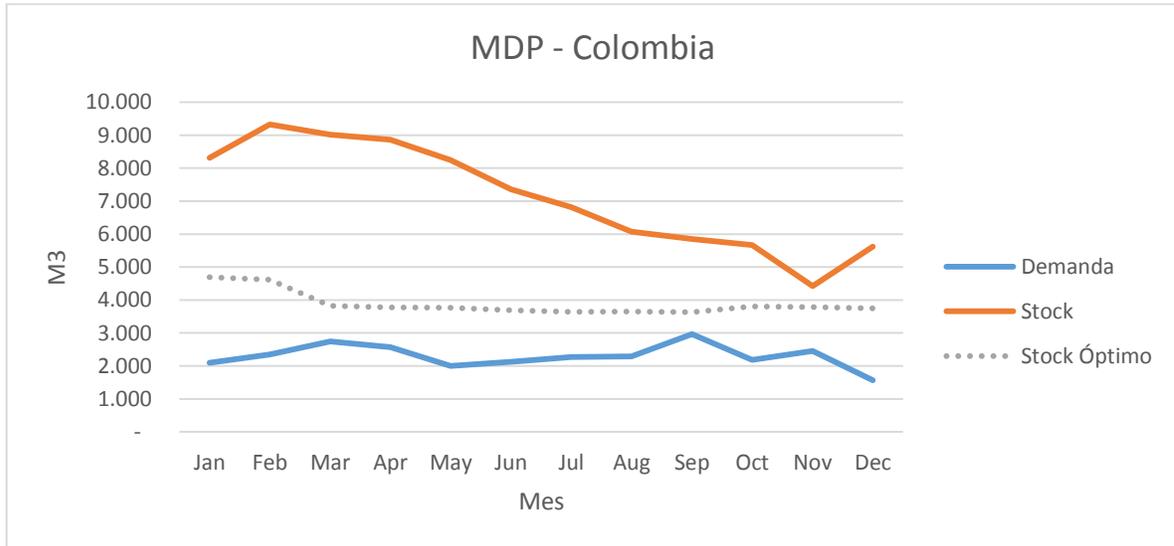
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3: Resumen MDP - Perú

MDP	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Stock [m3]	7.673	6.256	7.106	9.033	9.461	9.814	8.910	7.965	7.276	7.140	6.802	7.134	94.570
Stock óptimo [m3]	6.253	6.227	6.315	6.260	6.085	6.320	6.319	6.329	6.487	6.565	6.737	6.737	76.635
Sobre stock [m3]	1.420	29	791	2.773	3.376	3.495	2.590	1.636	789	575	64	397	17.935

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 7: MDP - Colombia



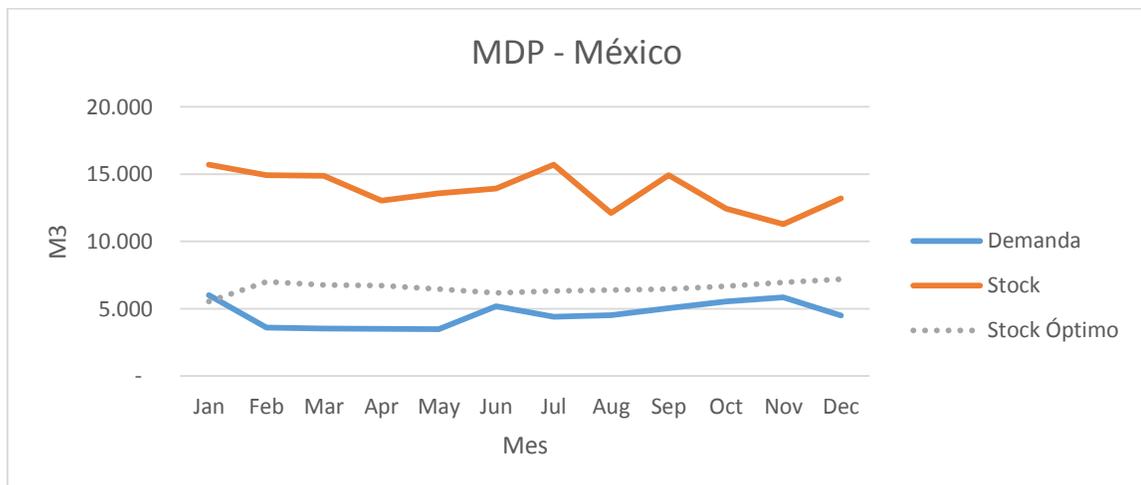
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4: Resumen MDP - Colombia

MDP	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Stock [m3]	8.308	9.323	9.012	8.864	8.243	7.361	6.820	6.070	5.851	5.672	4.427	5.622	85.574
Stock óptimo [m3]	4.712	4.640	3.843	3.794	3.783	3.704	3.664	3.667	3.646	3.825	3.802	3.767	46.845
Sobre stock [m3]	3.596	4.683	5.170	5.070	4.459	3.657	3.157	2.404	2.205	1.848	625	1.856	38.728

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 8: MDP - México



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5: Resumen MDP - México

MDP	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Stock [m3]	15.708	14.918	14.869	13.026	13.564	13.930	15.704	12.116	14.916	12.429	11.274	13.196	165.649
Stock óptimo [m3]	5.547	6.781	6.529	6.470	6.213	5.953	6.155	6.238	6.327	6.536	6.816	7.016	76.581
Sobre stock [m3]	10.161	8.137	8.340	6.556	7.351	7.977	9.549	5.878	8.589	5.893	4.457	6.180	89.069

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenidos los niveles de stock óptimo y compararlos con los niveles de stock real, se debe valorizar el costo que tiene para la empresa esta deficiencia en el manejo de los niveles de inventario.

El costo de oportunidad del dinero invertido en sobre stock³ se describe como el costo de tener dinero invertido en producto que no se venderá de inmediato, cuando podría estar rentando en otro activo. Este puede calcularse como sigue:

$$\text{COSTO OPORTUNIDAD} = (\text{PRECIO PRODUCTO} - \text{MARGEN PRODUCTO}) * \text{WACC}$$

Los costos por venta perdida⁴ se definen como los costos generados por la falta de stock disponible en las bodegas, imposibilitando así su venta. Estos costos se definen de la siguiente manera:

$$\text{COSTO VENTA PERDIDA} = \text{MARGEN}$$

Valorizando el sobre stock con la formula anteriormente mencionada, nos muestra que durante el año 2016 Maderas ARAUCO S.A. tuvo costos de USD 4.740.478 para la línea de MDP en sus oficinas comerciales de Chile, Perú, Colombia y México.

Este mismo análisis se replicó para las líneas de producto “Maderas”, “Plywood”, “MDF”, “Remanufactura” y “Hardboard”. A continuación, se muestra el análisis de la totalidad de las líneas de producto:

³ Schroeder, Roger. 1992. Administración de Operaciones.

⁴ Schroeder, Roger. 1992. Administración de Operaciones.

Tabla 6: Análisis costos Chile [USD]

CHILE DISTRIBUCIÓN

LÍNEA	DEMANDA	STOCK REAL	STOCK OPTIMO	DELTA STOCK	COSTOS	% STOCK
Madera	138.502	176.602	142.667	33.935	\$ 577.315	-19%
PLY	90.602	91.556	107.248	- 15.692	\$ 26.590	17%
MDP	122.391	200.679	143.287	57.392	\$ 1.346.944	-29%
MDF	52.429	69.468	59.275	10.194	\$ 203.688	-15%
Rema	14.462	56.551	43.417	13.134	\$ 422.869	-23%
HB	32.003	17.392	34.578	- 17.187	\$ 1.127.575	99%
TOTAL	450.389	612.248	530.472	81.776	\$ 3.704.980	-13%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7: Análisis costos Perú [USD]

PERÚ

LÍNEA	DEMANDA	STOCK REAL	STOCK OPTIMO	DELTA STOCK	COSTOS	% STOCK
Madera	2.295	3.922	6.945	- 3.023	\$ 162.744	77%
PLY	10.031	32.509	27.230	5.279	\$ 140.234	-16%
MDP	59.362	94.570	76.635	17.935	\$ 339.783	-19%
MDF	12.891	37.993	29.093	8.900	\$ 165.531	-23%
HB	16.312	27.630	25.528	2.102	\$ 63.869	-8%
TOTAL	100.892	196.624	165.431	31.193	\$ 872.160	-16%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Análisis costos Colombia [USD]

COLOMBIA

LÍNEA	DEMANDA	STOCK REAL	STOCK OPTIMO	DELTA STOCK	COSTOS	% STOCK
Madera	19.909	40.727	34.640	6.087	\$ 94.708	-15%
PLY	15.465	31.366	25.116	6.250	\$ 179.528	-20%
MDP	27.617	85.574	46.845	38.728	\$ 959.209	-45%
MDF	35.878	90.088	53.228	36.861	\$ 656.611	-41%
HB	5.088	10.245	10.903	- 658	\$ 38.407	6%
TOTAL	103.957	258.000	170.732	87.268	\$ 1.928.462	-34%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9: Análisis costos México [USD]

MEXICO

LÍNEA	DEMANDA	STOCK REAL	STOCK OPTIMO	DELTA STOCK	COSTOS	% STOCK
Madera	75.422	132.668	173.966	- 41.298	\$ 2.259.460	31%
PLY	96.654	165.271	160.961	4.310	\$ 131.666	-3%
MDP	53.855	165.649	76.581	89.069	\$ 2.094.542	-54%
MDF	190.349	335.399	283.048	52.351	\$ 1.046.718	-16%
HB	1.078	1.612	3.858	- 2.246	\$ 69.762	139%
TOTAL	417.359	800.599	698.414	102.185	\$ 5.602.148	-13%

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados, finalmente se realiza una comparación de los márgenes reales obtenidos por la empresa durante el año 2016, calculadas como ingresos por ventas menos costos, y los márgenes que habría obtenido si hubiese tenido niveles de inventarios óptimos según el modelo implementado.

Tabla 10: Comparativa margen real versus proyectado [USD]

LÍNEA	Margen Actual	Margen Proyectado	DELTA STOCK
Madera	\$ 10.512.260	\$ 11.384.392	1%
PLY	\$ 487.579	\$ 1.018.199	0%
MDP	\$ 23.530.040	\$ 29.286.136	-37%
MDF	\$ 21.881.524	\$ 24.495.598	-20%
Rema	\$ 654.479	\$ 1.143.019	-23%
HB	\$ 2.911.737	\$ 2.986.116	32%
SUBTOTAL	\$ 59.977.618	\$ 70.313.460	-16%
DELTA	15%		

Fuente: Elaboración propia.

Este análisis nos muestra que efectivamente Maderas Arauco S.A. posee altos niveles de inventario, lo cual le significa tener mucho capital inmovilizado y, por ende, sobre costos que debe asumir. Sumado a lo anterior, se realizó un análisis de la calidad del stock que posee actualmente la empresa, donde se utilizaron 2 criterios de clasificación. Por una parte, se utilizó el criterio de rotación (frecuencia) donde se mide la venta de los últimos 6 meses móviles y, por otra parte, se utilizó el criterio de Pareto (cantidad) donde se clasifican según el porcentaje de la venta total que representan. La clasificación se muestra a continuación:

Tabla 11: Clasificación ABCI

ABCI		Frecuencia			
		5-6	3-4	1-2	
		A	B	C	
Cantidad	80%	A	A	B	C
	15%	B	B	B	C
	5%	C	C	C	C

Fuente: Elaboración propia.

Donde los productos con clasificación "A" corresponden a aquellos que han tenido ventas 5 o 6 meses dentro de los últimos 6 meses móviles y que representan el 80% de las ventas totales. Los productos con clasificación "B" son aquellos que han tenido ventas 3 o 4 meses de los últimos 6 meses y que representan el 15% de las ventas. Por otra parte, los productos categorizados como "C" son aquellos que solo han tenido venta 1 o 2 meses de los últimos 6 meses móviles y que representan el 5% de las

ventas totales. Finalmente, existe la clasificación “I” que corresponde a los productos inmovilizados que han pasado más de 6 meses en el inventario. Una vez realizado este análisis, se observó que el 20% del stock existente corresponde a productos con clasificación “C” o “I”, es decir, stock que lleva a lo menos 5 meses sin tener venta lo cual se traduce en capital inmovilizado para la empresa.

Por lo anterior es que se detecta una oportunidad para poder disminuir estos niveles de inventario mediante el rediseño de procesos que estén relacionados con los niveles de stock.

Como posibles causas de este manejo de inventario deficiente se pueden mencionar las siguientes:

- *Estimación de la demanda ineficiente*
- *Se produce más de lo indicado en plan de producción*
- *Productos listos antes de la fecha estipulada*
- *Holguras en tiempo de producción y embarque*
- *Co-generación de productos*
- *Periodo de revisión muy extenso*

Dado estos sobre costos es que se propone realizar un rediseño de los procesos que tienen relación con la administración de los niveles de inventario, específicamente para las líneas de producto MDP y MDF, debido a que son las líneas que poseen un mayor nivel de sobre stock, por lo que tendrán mayor impacto en reducir los costos de la empresa.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Reducir los niveles de inventario de Maderas Arauco S.A. mediante el rediseño de los procesos involucrados; observando, analizando y detectando factores claves en sus procesos de planificación y producción de productos para reducir los costos que posee la empresa derivados del inventario.

3.2 Objetivos Específicos

- *Cuantificar los costos por sobre stock que posee actualmente Maderas Arauco S.A. y definir las líneas de producto que generen mayores costos a la empresa.*
- *Realizar un levantamiento de la situación actual de los procesos que estén involucrados con el nivel de inventario.*
- *Detectar falencias en los procesos analizados.*
- *Rediseñar los procesos que posean falencias para optimizar el nivel de inventario.*
- *Evaluar económicamente el impacto del rediseño de procesos.*

4. MARCO CONCEPTUAL

Los elementos teóricos que aportaran las distinciones básicas para abordar el rediseño de procesos, provienen en su mayoría de la Gestión de Operaciones:

4.1 Sistemas de Inventario

Un sistema de inventario proporciona la estructura organizacional y las políticas operativas para mantener y controlar los bienes en existencia. El sistema es responsable de pedir y recibir los bienes: establecer el momento de hacer los pedidos y llevar un registro de lo que se pidió, la cantidad ordenada y a quién. A continuación, se detallarán 3 modelos de administración de inventario⁵.

4.1.1 Modelo de cantidad de pedido fija

Los modelos de cantidad de pedido fija pretenden determinar el punto específico R en que se hará un pedido, así como su tamaño Q. El punto de pedido R siempre es un número específico de unidades. Se hace un pedido de tamaño Q cuando el inventario disponible (en existencia o en pedido) llega al punto R. Este modelo posee los siguientes supuestos:

- La demanda del producto es constante y uniforme durante todo el periodo.
- El tiempo de entrega (tiempo para recibir el pedido) es constante.
- El precio por unidad del producto es constante.
- El costo por mantener el inventario se basa en el inventario promedio.
- Los costos de pedido o preparación son constantes.
- Se van a cubrir todas las demandas del producto (no se permiten pedidos acumulados).

Luego, lo que se busca es minimizar la ecuación de costos de inventario que se muestra continuación:

$$TC = DC + \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H$$

Donde

⁵ Schroeder, Roger. 1992. Administración de Operaciones.

TC = Costo anual total
 D = Demanda (anual)
 C = Costo por unidad
 Q = Cantidad por pedir (la cantidad óptima se conoce como *cantidad de pedido económica*, EOQ, o $Q_{\text{ópt}}$)
 S = Costo de preparación o costo de hacer un pedido
 H = Costo anual de mantenimiento y almacenamiento por unidad de inventario promedio (a menudo, el costo de mantenimiento se toma como porcentaje del costo de la pieza, como $H = iC$, donde i es el porcentaje del costo de manejo)

A continuación, se deriva la ecuación anterior en torno a (Q) y se iguala a cero, obteniendo lo siguiente:

$$Q_{\text{ópt}} = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

Donde $Q_{\text{ópt}}$ representa el tamaño de pedido que minimiza los costos de inventario. Este modelo sencillo supone una demanda y un tiempo de entrega constantes, por lo que no es necesario tener inventario de seguridad, y el punto de reorden, R , simplemente es:

$$R = \bar{d}L$$

Donde

\bar{d} = Demanda diaria promedio (constante)
 L = Tiempo de entrega en días (constante)

4.1.2 Modelo de cantidad de pedido fija con inventarios de seguridad

Un sistema de cantidad de pedido fija vigila en forma constante el nivel del inventario y hace un pedido nuevo cuando las existencias alcanzan cierto nivel R . El peligro de tener faltantes en ese modelo ocurre solo durante el tiempo de entrega, entre el momento de hacer un pedido y su recepción. El inventario de seguridad depende del nivel de servicio deseado. La cantidad que se va a pedir (Q) se calcula de manera normal considerando la demanda, costo de faltantes, costo de pedido, costo de mantenimiento, etc. En los inventarios de seguridad se toma en cuenta el elemento de la incertidumbre. El punto de reorden es:

$$R = \bar{d}L + z\sigma_L$$

Donde

R = Punto de reorden en unidades

\bar{d} = Demanda diaria promedio

L = Tiempo de entrega en días (tiempo transcurrido entre hacer y recibir el pedido)

z = Número de desviaciones estándar para una probabilidad de servicio específica

σ_L = Desviación estándar del uso durante el tiempo de entrega

4.1.3 Modelo de periodo fijo con inventario de seguridad

En un sistema de periodo fijo, el inventario se cuenta solo en algunos momentos, como cada semana o cada mes. Los modelos de periodo fijo generan cantidades de pedidos que varían de un periodo a otro según los índices de uso. Por lo general, para esto es necesario un nivel más alto de inventario de seguridad que en el sistema de cantidad de pedido fija.

Los modelos de periodo fijo estándar suponen que el inventario solo se cuenta en el momento específico de la revisión. Es posible que una demanda alta provoque que el inventario llegue a cero justo después de hacer el pedido. Esta condición pasará inadvertida hasta el siguiente periodo de revisión; además, el nuevo pedido tardará en llegar. Por consiguiente, el inventario de seguridad debe ofrecer una protección contra el agotamiento de existencias en el periodo de revisión mismo, así como durante el tiempo de entrega desde el momento de hacer el pedido hasta recibirlo.

En un sistema de periodo fijo, los pedidos se vuelven a hacer en el momento de la revisión (T) y la cantidad óptima a pedir es la siguiente:

$$\begin{array}{rcccl} \text{Cantidad} & = & \text{Demanda promedio} & & \text{Existencias disponibles} \\ \text{de pedido} & & \text{durante el periodo} & + & \text{(más el pedido, en caso} \\ & & \text{vulnerable} & & \text{de haber alguno)} \\ & & & & \\ q & = & \bar{d}(T + L) & + & z\sigma_{T+L} & - & I \end{array}$$

4.2 Pronósticos de Demanda

Los pronósticos se clasifican en cuatro tipos básicos: cualitativo, análisis de series de tiempo, relaciones causales y simulación. Las técnicas cualitativas son subjetivas y se basan en estimados y opiniones. El análisis de series de tiempo, se basa en la idea de que es posible utilizar información relacionada con la demanda pasada para predecir la demanda futura. La información anterior puede incluir varios componentes, como influencias de tendencias, estacionales o cíclicas. El pronóstico causal, que se analiza mediante la técnica de la regresión lineal, supone que la demanda se relaciona con algún factor subyacente en el ambiente. Los modelos de simulación permiten al encargado del pronóstico manejar varias suposiciones acerca de la condición del

pronóstico⁶. A continuación se mostraran los pronósticos de series de tiempo, ya que son los que tienen mayor relación con el presente trabajo de memoria debido a que son los que actualmente utiliza la empresa.

4.2.1 Promedio Móvil Simple

Cuando la demanda de un producto no crece ni baja con rapidez, y si no tiene características estacionales, un promedio móvil puede ser útil para eliminar las fluctuaciones aleatorias del pronóstico. Aunque los promedios de movimientos casi siempre son centrados, es más conveniente utilizar datos anteriores para predecir el periodo siguiente de manera directa. El promedio móvil se define de la siguiente manera:

$$F_t = \frac{A_{t-1} + A_{t-2} + A_{t-3} + \dots + A_{t-n}}{n}$$

Donde

F_t = Pronóstico para el siguiente periodo

n = Número de periodos por promediar

A_{t-1} = Suceso real en el periodo pasado

El promedio móvil es útil cuando no aumenta ni disminuye con rapidez y no posee características estacionales. Lo anterior, ya que mientras más largo sea el periodo del promedio móvil, más se suavizarán los elementos aleatorios. Por otra parte, si existe una tendencia en los datos (ya sea a la alta o a la baja), el promedio móvil tiene la característica adversa de retrasar la tendencia. Por tanto, aunque un periodo más corto produce más oscilación, existe un seguimiento cercano de la tendencia. Por el contrario, un periodo más largo da una respuesta más uniforme pero retrasa la tendencia.

4.2.2 Promedio Móvil Ponderado

Mientras que el promedio móvil simple da igual importancia a cada componente de la base de datos del promedio móvil, un promedio móvil ponderado permite asignar cualquier importancia a cada elemento, siempre y cuando la suma de todas las ponderaciones sea igual a uno. El promedio móvil ponderado se define de la siguiente manera⁷:

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

Donde

⁶ Chase, Richard B; Jacobs, F.Robert; Aquilano, Nicholas J. 2009. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro.

⁷ Chase, Richard B; Jacobs, F.Robert; Aquilano, Nicholas J. 2009. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro.

w_1 = Ponderación dada al hecho real para el periodo $t - 1$
 w_2 = Ponderación dada al hecho real para el periodo $t - 2$
 w_n = Ponderación dada al hecho real para el periodo $t - n$
 n = Número total de periodos en el pronóstico

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Por regla general, el pasado más reciente es el indicador más importante de lo que se espera en el futuro y por ende debe tener una ponderación más alta. No obstante, si los datos son estacionales, por ejemplo, las ponderaciones se deben establecer en forma correspondiente. El promedio móvil ponderado tiene una ventaja definitiva sobre el promedio móvil simple en cuanto a que puede variar los efectos de los datos pasados.

4.2.3 Suavización Exponencial

En los métodos de pronósticos anteriores, la principal desventaja es la necesidad de manejar en forma continua gran cantidad de datos. En estos métodos, al agregar cada nueva pieza de datos se elimina la observación anterior y se calcula el nuevo pronóstico. En muchas aplicaciones, los hechos más recientes son más indicativos del futuro que los del pasado más distante. La razón por la que se llama suavización exponencial es que cada incremento en el pasado se reduce $(1 - \alpha)$.

En el método de suavización exponencial solo se necesitan tres piezas de datos para pronosticar el futuro: el pronóstico más reciente, la demanda real que ocurrió durante el periodo de pronóstico y una constante de suavización alfa (α). Esta constante de suavización determina el nivel de uniformidad y la velocidad de reacción ante las diferencias entre los pronósticos y los hechos reales. La ecuación para un solo pronóstico de uniformidad exponencial es⁸:

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1})$$

Donde

F_t = Pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo t
 F_{t-1} = Pronóstico suavizado exponencialmente para el periodo anterior
 A_{t-1} = Demanda real en el periodo anterior
 α = Índice de respuesta deseado, o constante de suavización

Esta ecuación establece que el nuevo pronóstico es igual al pronóstico anterior más una porción del error (la diferencia entre el pronóstico anterior y lo que en verdad ocurrió).

⁸ Chase, Richard B; Jacobs, F.Robert; Aquilano, Nicholas J. 2009. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro.

4.3 Error Porcentual Absoluto Medio

Se define Mean Absolute Error Percentage (MAPE), por su sigla en inglés, a la medida que determina el error respecto del promedio de demanda. El MAPE se calcula como:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|A_t - F_t|}{|A_t|}}{n}$$

Esta es una medida útil porque es una estimación de cuánto error se espera con un pronóstico⁹.

4.4 Modelamiento y Notación de Procesos de Negocios

Se denomina Business Process Model and Notation (BPMN), por su sigla en inglés, a la notación estándar internacional de modelado de procesos de negocios, el cual permite representar gráficamente el flujo de un proceso de trabajo¹⁰. BPMN fue inicialmente desarrollada por la organización Business Process Management Initiative (BPMI), en el año 2004. Esta notación permite utilizar un lenguaje común que permite describir los procesos de forma clara y mostrando para cada proceso los encargados, secuencias, mensajes, etc.

4.5 Rediseño de Procesos

Para el estudio abordado, es necesario trabajar en el área de rediseño de procesos. En este ámbito se puede definir un proceso, como un conjunto de actividades interrelacionadas, que a través de insumos, entregan productos con valor agregado.

En el rediseño de procesos se pueden reconocer dos principales enfoques, la reingeniería y el mejoramiento continuo.

La reingeniería consta de cambios radicales en la organización generando mejoras considerables de rendimiento, relacionados por ejemplo con costos, calidad, rapidez, etc. Se centra en cambiar por completo lo viejo, y generar nuevas formas de hacer las cosas.

⁹ Chase, Richard B; Jacobs, F.Robert; Aquilano, Nicholas J. 2009. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro.

¹⁰ BPMN, Diseño de Procesos de Negocios. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

Mejoramiento continuo, tal como lo señala, son cambios pequeños e incrementales, que buscan mejorar lo que ya está realizando la organización¹¹. A continuación, se muestran 3 enfoques de rediseño:

4.5.1 Lean

La metodología LEAN consta de 5 pilares que se detallaran a continuación¹²:

Identificar valor

El punto de partida crítico para el pensamiento LEAN es el valor. El valor sólo puede ser definido por el cliente final. Y sólo es significativo cuando se expresa en términos de un producto específico (un bien o un servicio, y, a menudo, ambos a la vez) que satisface las necesidades del cliente a un precio específico en un momento específico. El valor es creado por el productor. Desde el punto de vista del cliente, esto es por qué existen los productores. Sin embargo, por muchas razones, el valor es muy difícil para los productores para definir con precisión. El pensamiento LEAN debe comenzar por un intento consciente de definir un valor en términos de productos específicos con capacidades específicas a través de un diálogo con clientes específicos.

Identificar el flujo de trabajo

El flujo de valor es el conjunto de todas las acciones necesarias para crear un producto específico (ya sea un bien, un servicio o, cada vez más, una combinación de los dos) a través de las tres tareas críticas de gestión de cualquier negocio: la tarea de resolución de problemas desde el concepto hasta el diseño detallado y la ingeniería para el lanzamiento de la producción, la tarea de gestión de la información que se ejecuta desde la toma de pedidos a través de la programación detallada hasta la entrega, y la transformación desde las materias primas hasta un producto acabado en las manos del cliente.

Flujo

Una vez que se ha especificado con precisión el valor, el flujo de valor de un producto específico es totalmente mapeado por la empresa, y obviamente los pasos inútiles eliminados, se debe dar el siguiente paso: Haga que fluyan los pasos restantes que generan valor. Sin embargo, sea advertido que este paso requiere una completa reordenación de instalaciones.

Pull

El primer efecto visible de la conversión de departamentos y lotes a equipos de productos y flujo es que el tiempo necesario para pasar de concepto a lanzamiento, venta a la entrega, y de materia prima al cliente cae dramáticamente. Cuando se

¹¹ REDISEÑO DE PROCESOS DE ABASTECIMIENTO DE CLÍNICA INTEGRAMÉDICA EN EL ÁMBITO DE LA GESTIÓN, German Leiva Muñoz (2009).

¹² Womack, James; Jones, Daniel. 2003. Lean Thinking.

introduce el flujo, los productos que requieren años para diseñar se hacen en meses, los pedidos que tardan días en procesarse se completan en horas y las semanas o meses de tiempo de producción para la producción física convencional se reducen a minutos o días. De hecho, si no puedes disminuir rápidamente los tiempos de producción a la mitad en el desarrollo de productos, el 75 por ciento en el procesamiento de pedidos y 90 por ciento en la producción física, estás haciendo algo mal. Los sistemas LEAN pueden hacer cualquier producto actual en la producción en cualquier combinación, de manera que la demanda cambiante pueda ser acomodada inmediatamente.

Perfección

A medida que las organizaciones empiezan a especificar con precisión el valor, identificar el flujo de valor completo, hacer que los pasos de creación de valor para productos específicos fluyan continuamente, y dejar que los clientes extraigan valor de la empresa, algo muy extraño comienza a suceder. Los involucrados se dan cuenta que no hay fin al proceso de reducir el esfuerzo, el tiempo, el espacio, el coste y los errores al ofrecer un producto que es cada vez más cerca de lo que el cliente realmente quiere. De repente la perfección, el quinto y último principio del pensamiento LEAN, no parece una idea loca.

¿Por qué debería ser esto? Debido a que los cuatro principios iniciales interactúan cada uno con otro en un círculo virtuoso. Obtener valor para fluir más rápido siempre expone muda en el flujo de valor. Y cuanto más traes valor, más obstáculos al flujo se revelan para que puedan ser eliminados. Equipos de productos dedicados al diálogo directo con los clientes siempre encuentran formas de crear valor específico.

4.5.2 Six - Sigma

El Seis Sigma es una herramienta de mejoramiento que permite obtener organizaciones eficaces y eficientes, continuamente alineadas con las necesidades de los clientes. Se fundamenta en el trabajo en equipo como estrategia para generar las capacidades competitivas de la organización y de las personas involucradas. Para lograr estos objetivos el Seis Sigma está basado en cinco etapas que en su orden son¹³:

Definir

En esta etapa los responsables de la aplicación del método SEIS SIGMA definen el problema de calidad mediante una planeación que involucre las expectativas y necesidades de los clientes, la identificación del proceso y de sus inter relaciones, así como también las variables críticas.

¹³ Escalante, Edgardo. 2005. Seis-Sigma: metodología y técnicas.

Medir

La organización debe planificar e implementar procedimientos de seguimiento con el propósito de validar la información que toma del proceso, como la medición y evaluación del producto, la capacidad del proceso, los indicadores de gestión del proyecto y la satisfacción de los clientes externos e internos. La filosofía de SEIS SIGMA posee un enfoque basado en procesos. Es imperativo entonces tomar la información de las fases que componen esta estructura. Las áreas en las cuales se debe tomar información son el área de entrada al proceso, el área que integra las distintas actividades del proceso, el área de salida del proceso y el área de satisfacción del cliente.

Mejorar

En esta etapa la organización debe mejorar continuamente en términos de la eficacia de sus procesos, de tal manera que permita llevar a cabo nuevas técnicas o formas más efectivas de optimización. Para lograr este mejoramiento la organización debe comprometerse a determinar las tendencias del producto y a establecer el nivel de satisfacción del cliente, a la vez que debe realizar estudios comparativos de su desempeño y nivel de competitividad con respecto a otras organizaciones. Técnicas de mejoramiento como el AMEF, el DISEÑO EXPERIMENTAL ayudan a la toma de decisiones adecuadas en la organización.

Análisis

Es la etapa más importante de la filosofía Seis Sigma, ya que se deben aplicar todas las herramientas estadísticas que se ajusten a la información suministrada por el proceso. Una selección adecuada del método estadístico permitirá sin lugar a dudas obtener mejores beneficios y con él acceder a un análisis muy cercano a la realidad.

Entre estos métodos de análisis, encontramos los más sencillos como el Diagrama de Pareto, Diagrama de Causa y efecto como paso previo al análisis inicial. También encontramos herramientas igualmente válidas como son: el Diagrama de Dispersión, El Modelo Lineal con su coeficiente de correlación y determinación.

Existen herramientas especializadas que necesariamente el responsable en la organización, de implementar el Método Seis Sigma debe conocer o en su defecto contratar personal experto, como es el caso de herramientas estadísticas como el Control Estadístico de Procesos y el Diseño Experimental.

Control

Esta etapa permite verificar la efectividad y la eficacia de los diversos cambios que sufre el proceso no a través de las diversas etapas de mejora. Es indispensable entonces definir unos indicadores que nos muestre el nivel de desempeño de la organización. Las ciencias estadísticas permiten utilizar un sinnúmero de aplicaciones para conocer el

estado de un proceso bajo los eventos que ofrece la información recolectada en la organización.

Entre los métodos o procedimientos aplicados para realizar el control a un proceso se encuentran herramientas tales como los Gráficos de Control Univariada por variables y Capacidad del proceso; las anteriores herramientas son aplicadas cuando las variables son cuantitativas, Gráficas Univariadas por atributos cuando las variables son cualitativas, las Gráficas de Control Multivariadas y el Diseño de Experimentos.

4.5.3 Metodología de Oscar Barros

La metodología propuesta por Oscar Barros, consta de 4 pasos claves para su consecución. Esta metodología se detalla a continuación¹⁴:

Definir el Proyecto

Esta actividad pretende establecer con precisión cuales son los procesos que deben ser rediseñados y los objetivos específicos que se tienen al enfrentar el rediseño. Aquí, la idea fundamental es la de elegir y priorizar aquellos procesos que generen una mayor contribución al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización.

Entender Situación Actual

Aquí se debe representar la situación actual de los procesos seleccionados para efecto de comprensión de la situación en general. Lo anterior se divide en las siguientes actividades:

- a) Modelar situación actual: Utilizando alguna técnica formal de representación de procesos, se abstraen las características más importantes y relevantes de los procesos elegidos, para efectos del rediseño.
- b) Validar y Medir: En esta etapa se realiza una verificación de que los modelos de los procesos representen fielmente lo que hoy ocurre y se mide el desempeño actual de ellos en el cumplimiento de los objetivos trazados.

Rediseñar

En este punto, se establecen los cambios que deberían efectuarse en la situación actual y detalla cómo se ejecutarán los nuevos procesos. Se subdivide en:

- a) Establecer dirección de cambio: Se debe indicar la dirección de cambio que genera los cambios globales o macro cambios que conviene realizar y que, casi siempre, implicarán un replanteamiento de la estructura organizacional

¹⁴ Barros, Oscar. 2000. Rediseño de procesos de negocios mediante el uso de patrones.

- b) Seleccionar tecnologías habilitantes: Consiste en buscar y evaluar las tecnologías que hacen factible el cambio definido.
- c) Modelar y evaluar rediseño: Consiste en realizar una representación de los nuevos procesos que implementaran el cambio establecido anteriormente, lo que debe tomar en cuenta la nueva estructura organizacional derivada del cambio en caso que aplique. Este modelo no es hecho al grado más bajo de detalle, ya que solo pretende poder visualizar y materializar en el papel los nuevos procesos, de tal manera de poder discutirlos, criticarlos y en último término evaluar el impacto operacional y económico de los mismos, antes de proceder a un mayor detalle e implementación.
- d) Detallar y probar rediseño: Implica diseñar y especificar en detalle los elementos de los nuevos procesos, a un nivel que permita su implementación.

Implementación

- a) Construir software: Adquirir el hardware y software requerido, de acuerdo a la solución propuesta.
- b) Implementar software: Poner en marcha definitiva la solución computacional diseñada, con todo lo que ello implica en cuanto a instalación de computadores, comunicaciones, software empaquetado, etc.
- c) Implementar procesos: Conlleva el entrenamiento de los participantes en el proceso, una marcha blanca para eliminar problemas de último minuto y una verificación de que el conjunto opera de acuerdo a lo diseñado y produce los resultados esperados.

La metodología seleccionada para la realización del presente trabajo es la sugerida por Oscar Barros, ya que la empresa cuenta con procesos que funcionan correctamente en general, por lo que no sería adecuado seguir una metodología disruptiva en cuanto a rediseñar por completo los procesos, sino más bien realizar una mejora continua, donde el rediseño se enfoque en optimizar aquellas partes del proceso que no sean tan eficientes.

5. METODOLOGÍA

La metodología tentativa consiste en 6 líneas de desarrollo que se detallan a continuación:

5.1 Revisión Bibliográfica

Se realizará una revisión selectiva de algunos trabajos que aborden el problema. Estos trabajos y textos están estrechamente relacionados con la gestión de operaciones, específicamente con la administración de inventarios y pronósticos de demanda. Se hace relevante esta revisión de manera de poder entender, analizar y proponer mejoras a los procesos existentes. Por otra parte, se analizarán textos relacionados con el rediseño de procesos, de manera de poder identificar la metodología que más se adecue a las políticas de la empresa donde se está realizando el rediseño.

5.2 Cuantificar los costos por sobre stock

Para poder cuantificar los posibles costos derivados de un manejo de inventario deficiente se debe seleccionar un modelo de administración que se ajuste a las características de la empresa para poder estimar el stock óptimo que debiera tener y compararlo con el real. Luego, se debe calcular los costos asociados a poseer niveles de inventario distintos a los óptimos arrojados por el modelo de administración de inventario. Estos costos pueden ser debido a sobre stock o a quiebres de stock.

5.3 Levantamiento de procesos existentes de planificación y producción

Para poder realizar un diagnóstico exhaustivo de la situación actual de la empresa, se debe llevar a cabo un levantamiento de procesos que permita conocer en profundidad aquellos relacionados con el área de planificación y producción de la empresa. Para cada proceso relacionado con la gestión y administración de inventario, se modela un diagrama de flujo de tareas mediante la notación para modelamiento de procesos de negocio (BPMN, business process model notation) donde se identifique los responsables de la ejecución de los procesos así como también quienes participan de ellos y la periodicidad que estos tienen. Lo anterior, se realizará a partir de visitas a plantas productivas y entrevistas con los encargados de estos procesos, vendedores, planificadores y programadores de producción.

Dado que el objetivo es disminuir los costos mediante la disminución de inventarios, es necesario conocer los procesos desde que los vendedores estiman la venta que tendrán en los meses siguientes, hasta que los productos son fabricados y enviados al cliente final.

5.4 Análisis de Datos

Una vez entendidos a cabalidad los procesos relacionados con la administración de inventario, se debe detectar aquellos procesos donde pueda existir un espacio de mejora que impacte positivamente disminuyendo los niveles de stock. Para lo anterior, se analizarán los datos de demanda, planificación y producción que permitan justificar cuantitativamente la existencia de una deficiencia en el proceso analizado.

5.5 Rediseño de procesos

Con los problemas identificados y los procesos involucrados, se realizan propuestas de rediseño para aquellos procesos que tengan relación con el nivel de inventario y que puedan ser más eficientes mediante una selección en una matriz de factibilidad versus impacto donde se seleccionen aquellos que sean los más eficientes y generen el mayor aporte al objetivo general del presente trabajo.

5.6 Evaluación económica del rediseño

Una vez diseñada la propuesta de rediseño, se realizará una evaluación económica del impacto que podría generar, comparando la situación actual con la situación idealizada aplicando el rediseño propuesto, infiriendo cuanto fue la reducción de los costos de la empresa que fue generado por este rediseño y también el cambio en los niveles de stock que posee la empresa.

6. ALCANCES

La realización de este trabajo se centrará en el estudio del área de planificación y producción de Maderas Arauco S.A. en donde se pretenden realizar mejoras a los procesos que están directamente relacionados con el manejo de los niveles de inventario de la empresa.

Para poder realizar estas mejoras, es necesario conocer la cadena completa desde que se planifica la venta a futuro para un determinado producto, hasta que es producida y enviada a destino, ya sea al cliente final o a una bodega para almacenarlo como stock.

Dado la gran cantidad de productos y volumen que produce y vende mensualmente Maderas Arauco S.A., este estudio se centrará específicamente en las líneas de productos MDF y MDP. Esta decisión se toma en base a que estas 2 líneas son las que mayor porcentaje de sobre stock poseen, y por ende, las que mayores costos les significan a la empresa.

La información con la que se cuenta para analizar los distintos procesos involucrados, abarca temporalmente desde enero del año 2015 a agosto del año 2017.

7. DESARROLLO

7.1 Levantamiento de la situación actual

Actualmente, Maderas Arauco S.A. funciona con un sistema de S&OP (Sales and Operation Planning), el cual es un proceso que ayuda a ofrecer un mejor servicio al cliente, manejar un inventario más bajo, ofrecer al cliente tiempos de entrega más breves, estabilizar los índices de producción y facilitar a la gerencia el manejo del negocio. El proceso está diseñado para coordinar actividades en el campo con las funciones de manufactura y servicio que se requieren para satisfacer la demanda en el tiempo. Según la situación, las actividades en el campo pueden incluir el suministro de centros de distribución de almacenes, venta al menudeo de saldos o canales de venta directa. El proceso está diseñado para ayudar a una empresa a equilibrar la oferta y la demanda, y mantenerlos así en el tiempo. El proceso requiere trabajo en equipo entre ventas, distribución y logística, operaciones, finanzas y desarrollo de productos¹⁵. A continuación, se describirá como se realizan todos estos procesos en Maderas Arauco S.A.

7.1.1 Estimación de demanda

En Maderas Arauco S.A. el proceso comienza en las oficinas comerciales de Chile, Colombia, México y Perú, donde los vendedores estiman la demanda del periodo siguiente para toda su paleta de productos, donde en primera instancia se clasifican los productos según su historial de venta clasificándolos en productos con variabilidad de demanda alta, media y baja. Una vez clasificados estos productos según su variabilidad, se procede a ejecutar un forecast estadístico mediante un promedio móvil ponderado, donde para los productos con variabilidad alta se utiliza la historia de los últimos 3 meses, donde para los productos con variabilidad media se utiliza la historia de los últimos 6 meses y para los productos con variabilidad baja se utiliza la historia de los últimos 12 meses. Con el pronóstico de demanda realizado para cada producto, se ajustan los resultados según la percepción de mercado de cada vendedor.

Finalmente, se realiza una reunión de consenso final donde participan las áreas de marketing, comercial y estratégica. En esta reunión se incorporan las visiones sobre que clientes se deben satisfacer, en que productos concentrar la oferta y la capacidad real de venta que posee la oficina comercial.

7.1.2 Planificación de demanda (1)

Una vez realizada la estimación de ventas de cada oficina comercial, esta se envía a los planificadores de demanda de cada línea de producto. Los planificadores reciben esta estimación de ventas y realizan un primer análisis de los datos para verificar algún

¹⁵ Chase, Richard B; Jacobs, F.Robert; Aquilano, Nicholas J. 2009. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro.

cambio significativo de volumen en algún material que pueda ser derivado de un error de tipeo o debido al aumento o disminución de la demanda a causa de un hecho específico. Luego de esta primera verificación, se ingresan los planes de venta de las distintas oficinas comerciales a un modelo optimizador llamado “capacity”. El funcionamiento de este modelo de optimización se detalla a continuación.

7.1.3 Modelo optimizador “Capacity”

Maderas Arauco S.A. utiliza un modelo optimizador para determinar la oferta de productos a producir cada periodo. Este modelo tiene como función objetivo maximizar el EBITDA de la empresa, teniendo ciertas familias de restricciones que son del tipo:

- **Capacidades:** Horas disponibles para trabajar cada máquina
- **Materia Prima:** Disponibilidad de materia prima para cada producto según sus especificaciones
- **Comerciales:** Mercados que deben abastecerse a pesar del margen obtenido
- **Técnicas:** Tipos de productos que puede producir cada planta y maquina

Adicionalmente a estas restricciones, el modelo posee ciertos parámetros que deben actualizarse cada vez que se va a ejecutar. Estos parámetros son: costo de la electricidad, costo del combustible, costos de materia prima, costos de flete, etc.

Luego de ingresar las restricciones y actualizar los parámetros, se carga el plan de venta propuesto por los vendedores y se ejecuta el optimizador. El output de este modelo es finalmente que cantidad del volumen propuesto se va a producir y en que planta de manera que maximice el retorno para la empresa.

7.1.4 Planificación de demanda (2)

Luego que se ejecuta el modelo optimizador, este arroja como resultado las asignaciones de volumen de oferta para cada oficina comercial. Con estas asignaciones arrojadas, se debe verificar que se cumplan los mínimos estratégicos establecidos por el área de marketing. Estos mínimos estratégicos corresponden a restricciones de volúmenes mínimos que deben ser vendidos de ciertos productos en algún mercado determinado, esto ya sea por compromisos con algún cliente o por no perjudicar la venta de productos que se venden en conjunto con el mencionado. En caso de no cumplir estos mínimos estratégicos se debe agregar esta restricción al modelo optimizador y correrlo nuevamente. Una vez que se cumple con los mínimos estratégicos, se realiza una reunión de consenso final en donde participa el área de marketing, ventas y planificación. En esta reunión se discute la capacidad de producción, que mercados ofrecen mejores márgenes y que clientes deben satisfacerse para mantener o aumentar la participación de mercado. Finalizada esta reunión de consenso, se informa los volúmenes finales confirmados a las distintas oficinas

comerciales para que tengan noción de los volúmenes con que van a contar para poder ofrecer a sus clientes.

7.1.5 Programación de producción

Semanalmente, específicamente los días lunes de cada semana, los programadores de producción descargan las órdenes de venta vigentes que están ingresadas en el sistema ERP (Enterprise Resource Planning) utilizado por la empresa. Simultáneamente, descargan las bases de datos que muestran los stocks disponibles de productos en todas las bodegas de la empresa. Con estas bases se realiza en primera instancia una revisión de las órdenes de venta que ya están planificadas y se verifica la fecha que estipularon en primera instancia que el producto iba a estar terminado. Luego, se determina si es que se mantiene esa fecha estimada o el producto estará terminado antes de lo pronosticado, donde se debe adelantar y actualizar la fecha de producción. El caso en que el producto estará terminado después de la fecha estimada, se debe retrasar y actualizar la fecha. Por otra parte, si la fecha en que estará terminado el producto sea la misma que se estimó en un principio, se mantiene la fecha ingresada al sistema. Luego de esta primera revisión de las ordenes planificadas, se procede con aquellas ordenes nuevas que han ingresado y que, por lo tanto, no han sido planificadas. Con estas órdenes, se realiza un cruce respecto a los stocks de productos disponibles por la empresa para poder determinar el volumen necesario que debe ser producido. Una vez determinado este volumen, se procede a verificar la capacidad de producción que poseen las maquinas, considerando los productos que pueden haber quedado retrasados de periodos anteriores y que debe ser producidos. Luego de verificar la capacidad disponible de producción de las maquinas, se corrobora que existan suficientes órdenes de compra de manera de poder completar el plan de producción semanal. En caso de que esto no ocurra, el programador de producción debe contactar al planificador de demanda para que le dé una estimación respecto a que materiales podrían ser ordenados a producir para las siguientes semanas de manera de poder incluirlos en el plan de producción actual.

7.1.6 Co-generación

Ciertos productos que producen Maderas Arauco S.A. llevan consigo una co-generación de otros productos no deseados, los cuales se pueden propiciar a partir de 3 razones principalmente:

- Materias Primas: En la producción de tableros melaminizados, ya sea de partículas o de fibras de madera, se debe contar con materias primas tal como resina sintética de urea, partículas o fibra de madera y finalmente papel que le da el diseño. Se da que si algunas de estas materias primas no están en óptimas condiciones, el producto final no tendrá la calidad que desea y con el que trabaja la empresa, por lo tanto será clasificado como productos de segunda calidad.
- Funcionamiento de las prensas: Para la producción de estos tableros, todas las materias primas deben ser ingresadas a una prensa que trabaja a altas

temperaturas. Durante el paso por esta prensa o durante etapas posteriores de lijado, el tablero puede crear imperfecciones lo cual atenta contra la calidad del producto.

- Medidas de los Tableros: Alguna de las prensas que posee la empresa, debido a la antigüedad de la maquinas, tiene una medida original de tablero que no es compatible con todas las combinaciones de productos que ofrece generalmente la empresa. Dado esto, es que cuando se quiere producir un producto que no es compatible con la medida original de la prensa, se debe combinar con otro producto de manera de aprovechar al máximo los diámetros del tablero original. Sin embargo, no siempre se puede realizar por lo que suelen generarse productos no deseados.

Finalmente, se genera el plan de producción semanal con los productos y volúmenes a producir. Una vez determinados los productos y los volúmenes, se debe decidir la secuencia de producción que tendrán estos, es decir, en qué orden y cantidad se producirán estos productos. Se debe considerar que, cuando se quiere producir un producto de distinta medida o espesor del producto anterior, se debe detener la maquina por aproximadamente 2 horas para poder ajustar las medidas y controlar la temperatura de la prensa. Dado lo anterior, los programadores prefieren producir la totalidad de volumen de un producto en una sola tanda con el fin de que la maquina se mantenga operativa el mayor tiempo posible.

Finalmente, cuando está definida la secuencia, se ingresan las fechas estimadas de producción de estas órdenes y se entrega el plan de producción al operador de máquina para que lo lleve a cabo.

8. SELECCIÓN DE PROCESOS A REDISEÑAR

Luego de haber realizado el levantamiento de los procesos involucrados, se procede a realizar un análisis sobre aquellos que puedan incidir en los niveles de inventario de la empresa. Específicamente, se analizarán los procesos que generan los stocks de seguridad. Por una parte, se encuentran los procesos que tienen relación con la varianza de la demanda y, por otra parte, se analizarán los procesos que tienen que ver con la varianza de la oferta.

Dentro de los procesos que tienen relación con la varianza de la demanda, el más relevante se muestra a continuación:

8.1 Estimación de demanda

Como se mencionó en el levantamiento de procesos, la estimación de la demanda se realiza mediante un pronóstico de demanda, específicamente el promedio móvil ponderado según la variabilidad del producto. Para poder medir la imprecisión de este pronóstico de demanda, se calcula el MAPE (Medium Percentage Average Error) para las líneas de MDP y MDF en las oficinas comerciales de Chile, Colombia, México y Perú para el periodo comprendido entre Febrero y Julio del año 2017.

MAPE líneas MDP y MDF. Chile

Tabla 12: Análisis MAPE línea MDP y MDF Chile

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDF	3%	5%	5%	28%	9%	12%	10%
MDP	1%	4%	11%	4%	13%	11%	7%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDF desagregado a categoría de producto. Chile

Tabla 13: Análisis MAPE subfamilia línea MDF Chile

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDF_DES	1%	9%	16%	21%	0%	6%	9%
MDF_DUR	9%	84%	79%	79%	76%	80%	68%
MDF_MNA	22%	18%	12%	31%	9%	10%	17%
MDF_RAN	74%	7%	35%	5%	12%	4%	23%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDP desagregado a categoría de producto. Chile

Tabla 14: Análisis MAPE subfamilia línea MDP Chile

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDP_DES	17%	6%	8%	92%	70%	63%	43%
MDP_MNA	2%	4%	12%	11%	6%	6%	7%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDF desagregado por producto. Chile

Tabla 15: Análisis MAPE por producto línea MDF Chile

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
505243	72%	66%	58%	87%	79%	32%	66%
505244	4%	21%	293%	7%	25%	33%	64%
505245	93%	9%	130%	25%	9%	14%	47%
529052	323%	8%	16%	11%	8%	21%	64%
529053	4%	4%	7%	142%	276%	0%	87%
529054	76%	42%	86%	99%	6%	20%	55%
747826	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
747828	0%	100%	0%	0%	0%	0%	100%
989300	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
992902	0%	313%	0%	0%	0%	0%	313%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDP desagregado por producto. Chile

Tabla 16: Análisis MAPE por producto línea MDP Chile

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
921052	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
921121	44%	65%	29%	32%	833%	1241%	374%
921122	8%	48%	9%	39%	56%	34%	32%
921123	26%	91%	22%	81%	113%	104%	73%
921124	17%	92%	36%	56%	7%	21%	38%
921138	0%	100%	0%	100%	0%	0%	100%
921155	4%	0%	0%	0%	0%	0%	4%
987511	100%	99%	100%	94%	93%	0%	97%
987821	0%	100%	0%	0%	0%	0%	100%
989248	100%	0%	100%	0%	100%	0%	100%

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en las tablas anteriores, cuando se calcula el MAPE al mayor nivel de agregación posible, es decir, MDF y MDP, estos son de 10% y 7% lo cual indica que el

forecast es bastante preciso. Sin embargo, si abrimos este análisis a niveles más desagregados llegando incluso a nivel de SKU, se observa que el MAPE llega a niveles muy altos superando el 100%. Esto nos muestra que el pronóstico de demanda utilizado por Maderas Arauco S.A. es bastante impreciso lo que lleva a tener niveles de inventarios muy lejanos al óptimo. Las diferencias existentes entre el análisis a nivel desagregado con el análisis a nivel agregado es debido a la definición del MAPE que toma el valor absoluto del error de pronóstico por lo que no considera si es un error de sobre estimación o sub estimación de la demanda.

Dentro de los procesos que tienen relación con la varianza de la oferta, los más relevantes se muestran a continuación:

8.2 Holguras de planificación

Cuando el programador verifica las órdenes de venta que no han sido planificadas, debe asignarle una fecha estimada de producción. Con esta fecha, el área de logística de la empresa, le asigna una nave para los casos en el que el producto se envía a las oficinas comerciales ubicadas en Colombia, Perú o México. Para definir esta fecha estimada, los programadores la establecen como la fecha real que creen será producido más una holgura de 1 semana para hacerle frente a posibles complicaciones que retrasen la producción. Esta holgura de 1 semana se definió arbitrariamente según la experiencia de los programadores y se aplica para la mayoría de los productos, a excepción de los productos que deben cumplir con la certificación CARB II ya que estos deben pasar por control de calidad luego de ser producidos por lo que la holgura definida para estos productos es de 2 semanas. El hecho de establecer esta holgura, genera que la mayoría de los productos son terminados antes de la fecha estimada por lo que al momento de actualizar la fecha de término de producción, el área de logística de la empresa no es capaz de adelantar el producto a una nave que zarpe antes ya que, por una parte los protocolos portuarios no permiten realizar movimientos de nave con menos de 14 días de anticipación y, por otra parte, algunos clientes o pueden recibir los productos anticipadamente ya que se programaron para recibirlos en la fecha que inicialmente le infirmaron.

Lo anterior, genera que los productos mucho tiempo en las bodegas de la empresa esperando a ser despachados, lo cual se transforma en costo por tener capital inmovilizado y, por otra parte, incrementa los lead time de entrega de los productos.

Para medir la eficiencia de las holguras aplicadas en la empresa, se verifico el tiempo que pasan los productos desde que son producidos y enviados a bodega, hasta que son despachados a puerto. Para la realización de este análisis, se revisaron 3 casos: Aquellos lotes que entraron a la bodega de productos terminados y que posteriormente fueron despachados a puerto, aquellos lotes que ingresaron a la bodega de productos terminados pero no han sido despachados a puerto, es decir, que siguen

permaneciendo en bodega y, por otra parte, el tiempo de permanencia de los lotes en control de calidad. Los resultados se muestran a continuación:

Lotes con entrada y salida

Tabla 17: Análisis días en bodega planta Teno

Planta Teno	Días bodega
Promedio	7,45
Desv. Estándar	11,94
Mediana	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Análisis días en bodega planta Trupán

Planta Trupán	Días bodega
Promedio	12,67
Desv. Estandar	19,44
Mediana	6

Fuente: Elaboración propia.

Lotes con entrada y salida más Lotes que aún permanecen en bodega

Tabla 19: Análisis días en bodega productos sin salida planta Teno

Planta Teno	Días bodega
Promedio	9,02
Desv. Estándar	18,14
Mediana	4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: Análisis días en bodega productos sin salida planta Trupán

Planta Trupán	Días bodega
Promedio	14,00
Desv. Estandar	22,69
Mediana	7

Fuente: Elaboración propia.

Permanencia en Control de Calidad

Tabla 21: Análisis días en control de calidad planta Teno

Planta Teno	Días bodega
Promedio	5,29
Desv. Estándar	4,06
Mediana	5

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la planta de Trupán es la que posee mayor tiempo de permanencia de los lotes en bodega, llegando a un promedio de 14 días y una desviación estándar de 22 días si es que se toman en cuenta los lotes que aún no han sido despachados. Esto implica que los lotes, en promedio, son producidos 14 días antes de lo estimado, lo que calza justamente con el periodo en el cual el área de logística no puede cambiar los lotes de nave para poder adelantar su entrega. Es importante mencionar que la diferencia entre el promedio y la mediana se debe a la alta dispersión de los datos donde se observan lotes que permanecen por más de 200 días dentro de las bodegas.

En cuanto a los lotes que deben pasar por control de calidad, estos permanecen en promedio 5 días siendo verificados por lo que se encuentra dentro del rango establecido en la holgura.

8.3 Periodicidad de bajada de órdenes de venta

Cuando los programadores bajan las órdenes de venta que no se han planificado, se corrobora que existan suficientes de manera de poder completar el plan de producción semanal. En caso de que esto no ocurra, el programador de producción debe contactar al planificador de demanda para que le dé una estimación respecto a que materiales podrían ser ordenados a producir para las siguientes semanas de manera de poder incluirlos en el plan de producción actual. Cuando ocurre esto, no siempre el planificador sabe con certeza los productos que ingresaran como orden de compra para las semanas siguientes por lo que sucede que se producen productos que no se venderán en las próximas semanas y, por ende, permanecen en stock a lo largo de este tiempo.

8.4 Co-generación de productos

Asumiendo el hecho de la co-generación producida por calidad de las materias primas y por el funcionamiento de las prensas, los programadores aumentan en un 2% el volumen a producir de estos productos para suplir la co-generación. Este 2% adicional se asigna de forma arbitraria en función de la experiencia de los programadores. El hecho de que el porcentaje de co-generación no sea estimado estadísticamente usando la historia de co-generación, provoca que muchas veces se produzca más de lo

necesario generando stock que no tiene venta asignada y, por lo tanto, se almacena como stock inmovilizado con su consiguiente costo para la empresa.

Para medir la co-generación real, se analizó la producción de las prensas existentes en las plantas de Teno y Trupán. La co-generación se denomina como producto de segunda calidad por lo que se estimó el porcentaje producido de segunda calidad para un mismo producto.

Planta Teno

Tabla 22: Análisis co-generación planta Teno

Prensa	m3 mensual	m3 1era calidad	m3 2da calidad	co-generación
Wemhöener	11.146,3	10.907,5	238,9	2,1%
Siempelkamp	8.628,5	8.433,1	195,4	2,3%

Fuente: Elaboración propia.

Planta Trupán

Tabla 23: Análisis co-generación planta Trupán

Prensa	m3 mensual	m3 1era calidad	m3 2da calidad	co-generación
Trupán 1	12.986,7	12.943,4	43,3	0,3%
Trupán 2	27.068,5	27.014,4	54,1	0,2%

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que en la planta de Teno, la co-generación real es de alrededor de 2%, lo que concuerda con lo estimado actualmente por los programadores. Por otra parte, en la planta de Trupán la co-generación real es cercana al 0% por lo que se está produciendo más de lo óptimo al aumentar en un 2% la producción debido a la co-generación.

8.5 Secuencia de productos

Como se describió en el capítulo anterior, los programadores buscan agrupar la producción de productos con el fin de mantener las maquinas funcionando el mayor tiempo posible sin parar para realizar cambio de medidas. Para lograr esto, los programadores verifican si vienen órdenes de venta de un mismo producto para la semana siguiente y, en ese caso, juntan esos 2 volúmenes y los producen en una sola tanda. Esto, aunque aumenta el rendimiento de las maquinas, también genera que los niveles de stock tengan un peak al producir la totalidad del volumen en una sola tanda. Ese stock producido no será despachado inmediatamente, incluso parte de ese stock puede ser despachado de 3 a 4 semanas más adelante por lo que todo ese tiempo permanecerá como stock inmovilizado y generara un costo de oportunidad para la empresa.

Para poder cuantificar el costo que tiene para la empresa el no realizar cambios de medida regularmente, se analizó el costo que conlleva un cambio de placa y el costo que conlleva no realizar un cambio de placa. Esto se calculó en base a los costos y márgenes promedio de los productos que produce cada prensa. Por otra parte, se consideró el tiempo durante el cual la prensa se encontraba detenida para realizar el cambio de placa y también el tiempo que la maquina estaba adelantando producción para no detener la prensa, es decir, produciendo productos que correspondían a semanas posteriores. Las formulas ocupadas se muestran a continuación:

Costo cambio de placa

$$[\Delta t \text{ cambio placa} * \text{Rendimiento}] * \text{Margen}$$

Costo no cambio de placa

$$[\Delta t \text{ producción anticipada} * \text{Rendimiento}] * \text{Costo producto} * \text{WACC}$$

Tabla 24: Análisis secuencia de producción [USD]

Prensa	Rendimiento [m3/hr]	Cambio Placas [hr]	Margen producto [USD/m3]	Costo producto [USD/m3]	Costo cambio placa	Costo no cambio placa
WEMHEÖENER	18	0,7	\$ 107	\$ 266	\$ 1.348	\$ 19.391
SIEMPELKAMP	10	2	\$ 107	\$ 266	\$ 2.140	\$ 10.773

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el costo de no realizar el cambio de placa llega a ser 13 veces mayor que el costo de cambiar la placa para el caso de la prensa “Wemheöener”, es decir, se podrían realizar hasta 13 cambios de placa durante un mes sin dejar de tener costos de oportunidad asociados.

Luego de tener cuantificados los procesos detectados como conflictivos, se realizó la selección de aquellos procesos que serían rediseñados mediante una matriz de impacto vs factibilidad. Esta matriz permite discriminar aquellos procesos que al ser rediseñados tendrán un mayor impacto en los niveles de inventario y, por ende, en los costos de la empresa, lo cual es el objetivo de esta memoria. Por otra parte, se analizara la factibilidad de realizar estos rediseños, ya sea por temas políticos de la empresa o por el horizonte de tiempo durante el cual se realiza este trabajo. La matriz se muestra a continuación:

Tabla 25: Matriz impacto versus factibilidad

		IMPACTO SOBRE EL NIVEL DE INVENTARIO	
		BAJO	ALTO
FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTAR	BAJO	<i>"Perioidad de bajada plan de producción"</i>	<i>"Estimación de demanda"</i>
	ALTO	<i>"Co-generación"</i>	<i>"Holguras de planificación"</i> <i>"Secuencia de productos"</i>

Fuente: Elaboración propia.

Dado que recientemente la empresa ha adquirido un software que le permita mejorar su estimación de pronóstico de ventas, se ha decidido descartar este rediseño ya que no sería un real aporte para la empresa dado que ya se está haciendo cargo de ese problema. Por otra parte, se evaluó que la co-generación tenía un impacto muy bajo ya que solo las prensas de la planta Trupán poseían desviaciones respecto al 2% establecido y estas desviaciones son marginales respecto al volumen total producido por estas prensas. En cuanto a la perioidad de bajada del plan de producción, se observó que la cantidad de órdenes de venta que quedaban en lista de espera para la semana siguiente es muy baja por lo que el impacto que tendría este posible rediseño es bajo, sumado a que a nivel de la empresa es complejo de realizar ya que la cantidad de información necesaria para realizar el plan de producción es grande por lo que lleva mucho tiempo y dificulta poder realizarlo con más frecuencia.

9. REDISEÑO

Ahora que ya están definidos los procesos conflictivos que generan un mayor impacto y que son más factibles de rediseñar, se procede a realizar los rediseños que estarán enfocados en la elección de la secuencia de producción y en la definición de las holguras para los distintos materiales. Estos 2 rediseños se detallan a continuación.

9.1 Holguras de Producción

Como se mencionó en el capítulo anterior, los programadores de producción asignan una holgura fija a todos los productos, la cual corresponde al lunes siguiente de la semana de holgura. Lo anterior, generaba que la mayoría de los productos permanecían inmovilizados por varios días antes de ser despachados a puerto. El despacho a puerto es realizado 14 días antes de la fecha de zarpe de la nave correspondiente, debido al tiempo que toma la consolidación de la carga en puerto y los trámites de aduana portuaria. Por lo tanto, en primer lugar se realizó un análisis de las fechas de zarpe de las naves que van a los mercados de Colombia, México y Perú, con el fin de ver si era una fecha fija y establecida con anterioridad o podía variar, como se muestra a continuación el ejemplo de la historia de viajes de las naves que zarpan desde el puerto de Lirquén a el puerto de Callao (Perú):

Tabla 26: Itinerario nave Lirquén - Callao

NEW ALEX LTS-ALX	JUNIO			JULIO					AGOSTO			
WEEK	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
VESSEL	NYK LYNX	NYK LYRA	NYK LED	MOL PACE	MARY	MOL PREMIUM	NYK LIBRA	CAPE CHRONOS	MOL PARADISE	ANTON SCHULTE	NYK LODESTAR	NYK LYNX
VOYAGE	2410 W	2411 W	2501 W	2502 W	2503 W	2504 W	2505 W	2506 W	2507 W	2508 W	2509 W	2510 W
CODIGO INTERNO	ALX YNK 2410	ALX YNR 2411	ALX NLZ 2501	ALX MQC 2502	ALX RYA 2503	ALX MQD 2504	ALX NLR 2505	ALX CQH 2506	ALX MQA 2507	ALX AHU 2508	ALX NDZ 2509	ALX YNK 2510
IQUIQUE	11-jun (dom)	18-jun (dom)	25-jun (dom)	2-jul (dom)	9-jul (dom)	16-jul (dom)	23-jul (dom)	30-jul (dom)	6-ago (dom)	13-ago (dom)	20-ago (dom)	27-ago (dom)
VALPARAISO	13-jun (mar)	20-jun (mar)	27-jun (mar)	4-jul (mar)	11-jul (mar)	18-jul (mar)	25-jul (mar)	1-ago (mar)	8-ago (mar)	15-ago (mar)	22-ago (mar)	29-ago (mar)
LIRQUEN	16-jun (vie)	23-jun (vie)	30-jun (vie)	7-jul (vie)	14-jul (vie)	21-jul (vie)	28-jul (vie)	4-ago (vie)	11-ago (vie)	18-ago (vie)	25-ago (vie)	1-sep (vie)
CALLAO	21-jun (mié)	28-jun (mié)	5-jul (mié)	12-jul (mié)	19-jul (mié)	26-jul (mié)	2-ago (mié)	9-ago (mié)	16-ago (mié)	23-ago (mié)	30-ago (mié)	6-sep (mié)
MANZANILLO	30-jun (vie)	7-jul (vie)	14-jul (vie)	21-jul (vie)	28-jul (vie)	4-ago (vie)	11-ago (vie)	18-ago (vie)	25-ago (vie)	1-sep (vie)	8-sep (vie)	15-sep (vie)

Fuente: Naviera NYK Line

Se encontró con que para todos los mercados, se realizan viajes semanalmente y las fechas de zarpe son fijas y determinadas con anterioridad. A continuación se muestran los itinerarios y los días de zarpe de cada ruta.

Tabla 27: Itinerario naves mercados Colombia, México y Perú

Mercado	Itinerario	Frecuencia	Día Zarpe
Colombia	San Vicente – Buenaventura	Semanal	Martes
México	Coronel – Manzanillo	Semanal	Domingo
	Lirquén – Manzanillo	Semanal	Miércoles
Perú	Coronel – Callao	Semanal	Sábado
	Lirquén – Callao	Semanal	Jueves

Fuente: Elaboración propia.

Dado que todos los mercados poseen viajes en fechas fijas, a excepción de posibles externalidades como paros portuarios, lo que se propone es cambiar de una holgura fija para todos los productos a una holgura flexible según el mercado al que este destinado el producto.

Esta nueva holgura se define según el mercado al que vaya cada producto y a la fecha de zarpe de la nave correspondiente, de manera que el producto esté listo 14 días ante de la fecha de zarpe, que es lo que exige la reglamentación portuaria. Con esta nueva holgura flexible, los productos serán despachados inmediatamente luego de ser producidos. A continuación se muestra un ejemplo del funcionamiento de esta nueva holgura:

Tabla 28: Ejemplo rediseño holguras de planificación

	Itinerario	Producción terminada	Zarpe nave	Despacho a puerto	Días en bodega
Holgura fija	Coronel (Chile) – Manzanillo (México)	06/11/2017 (Lunes)	26/11/2017 (Domingo)	12/11/2017 (Domingo)	6
Holgura flexible	Coronel (Chile) – Manzanillo (México)	05/11/2017 (Domingo)	19/11/2017 (Domingo)	05/11/2017 (Domingo)	0

Fuente: Elaboración propia.

Con esta nueva holgura, el lead time se reduce en 7 días, los 6 días que iba a estar en bodega más el día que se adelantó la fecha de producción.

9.2 Secuencia de Producción

El rediseño de la secuencia de producción se realiza con el fin disminuir los niveles de inventario mediante la optimización del número de cambios de placas que se realizan. Lo anterior, se lleva a cabo evaluando el máximo volumen a producir de una terminación específica, de modo que el costo de oportunidad de tener ese volumen en stock sea menor o igual al costo asociado por realizar un cambio de placa.

Cada producto de melamina que se produce, ya sea MDF o MDP, tiene una terminación específica. Esta terminación está definida por la placa con la que está produciendo la prensa, donde la terminaciones pueden ser: FROST, MATE NATURAL, SEMI MATE, TXT y SOFTWOOD. Dado lo anterior, cada vez que se quiere producir algún producto de una terminación distinta a la que actualmente se está produciendo, se debe realizar un cambio de placa, lo cual conlleva detener el funcionamiento de la prensa mientras se realiza el cambio.

Por otra parte, es importante considerar para efectos de este rediseño, que cada orden de venta tiene asociada una prioridad de entrega la cual es definida según cada cliente. Sumado a lo anterior, se toma en cuenta el hecho de que cada producto posee

márgenes distintos según el mercado en el cual se va a vender, debido a costos de transporte y precios de venta en los respectivos mercados.

Teniendo en consideración lo anteriormente expuesto, se procedió a maximizar el volumen a producir de una determinada terminación, de modo que el costo de oportunidad de tener ese volumen en stock sea menor o igual a realiza un cambio de placa, como se muestra a continuación:

$$\sum_{i,p,t} V_{ipt} * C_{im} * W \leq K$$

$i = \text{SKU (1),..., SKU(n)}, p = \text{HIGH}, t = \text{FROST}$

Donde,

V_{ipt} = Volumen del producto i, con prioridad p y terminación t

$i = \text{ID producto}, p = \{\text{high, medium, low}\}, t = \{\text{frost, mate natural, semi mate, txt, softwood}\}$

C_{im} = Costo del producto i, del mercado m

$i = \text{ID producto}, m = \{\text{Chile, Colombia, México, Perú}\}$

K = Costo de realizar un cambio de placa

W = Costo de capital de la empresa

Para llevar a cabo el rediseño se confecciono una planilla donde el funcionamiento se explica a continuación:

En primer lugar, se cuenta con la información de todos los productos que produce cada prensa, incluyendo la familia a la cual pertenece, la terminación asociada, el precio, costo y margen según el mercado al cual va dirigido.

Ilustración 9: Vista base de datos planilla rediseño secuencia de producción

	A	B	C	D	E	F	G
1	Material	Familia	Terminación	Mercado	Precio USD/m3	Margen USD/m3	Costo USD/m3
2	921776	MDP	FROST	Colombia	\$ 322	\$ 30,1	\$ 260
3	921953	MDP	SOFTWOOD	Colombia	\$ 394	\$ 73,1	\$ 288
4	921972	MDP	SOFTWOOD	Colombia	\$ 395	\$ 25,5	\$ 338
5	921988	MDP	SOFTWOOD	Colombia	\$ 394	\$ 22,5	\$ 339
6	921996	MDP	SOFTWOOD	Colombia	\$ 395	\$ 40,8	\$ 322
7	990405	MDP	SOFTWOOD	Colombia	\$ 464	\$ 105,0	\$ 322
8	998513	MDP	SOFTWOOD	Colombia	\$ 453	\$ 91,0	\$ 330
9	998523	MDP	SOFTWOOD	Colombia	\$ 453	\$ 57,3	\$ 364
10	999192	MDP	SOFTWOOD	Colombia	\$ 464	\$ 63,7	\$ 367
11	1008853	MDP	SOFTWOOD	Colombia	\$ 392	\$ 112,3	\$ 247
12	1016256	MDP	SOFTWOOD	Colombia	\$ 623	\$ 110,8	\$ 479
13	989004	MDP	TXT	Colombia	\$ 343	\$ 4,5	\$ 308
14	989006	MDP	TXT	Colombia	\$ 358	\$ 49,3	\$ 279
15	990403	MDP	TXT	Colombia	\$ 404	\$ 17,8	\$ 354
16	998001	MDP	TXT	Colombia	\$ 404	\$ 49,0	\$ 323
17	986732	MDF	FROST	Colombia	\$ 291	\$ 31,4	\$ 230
18	986733	MDF	FROST	Colombia	\$ 270	-\$ 7,7	\$ 249
19	990693	MDF	FROST	Colombia	\$ 394	\$ 91,5	\$ 273
20	915347	MDP	FROST	Perú	\$ 299	\$ 15,4	\$ 255
21	917328	MDP	FROST	Perú	\$ 265	\$ 6,0	\$ 231
22	921750	MDP	FROST	Perú	\$ 315	-\$ 25,5	\$ 312

Fuente: Elaboración propia.

Luego, se crea una hoja en la cual el programador deberá introducir todas las órdenes de venta que estén vigentes, incluyendo el código del material, el volumen asociado a la venta, la terminación del producto, el mercado al cual está dirigida la venta, la prioridad asociada a la orden de venta y finalmente, la fecha en la cual comprometieron la producción (FPD).

Ilustración 10: Vista hoja ingreso de órdenes de venta

	A	B	C	D	E	F	G
1	Entrega	Material	Volumen	Terminación	Mercado	Prioridad	FPD
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 11: Vista hoja con órdenes de venta ingresadas

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Entrega	Material	Volumen	Terminación	Mercado	Prioridad	FPD		
2	1	921776	59	FROST	Colombia	HIGH	1	Estimar Plan de Producción	
3	2	921953	19	SOFTWOOD	Colombia	HIGH	2		
4	3	921972	17	SOFTWOOD	Colombia	MEDIUM	4		
5	4	921988	17	SOFTWOOD	Colombia	LOW	2		
6	5	921996	45	SOFTWOOD	Colombia	HIGH	2		
7	6	990403	39	TXT	Colombia	LOW	4		
8	7	998001	49	TXT	Colombia	MEDIUM	4		
9	8	986732	50	FROST	Colombia	HIGH	1		
10	9	986733	42	FROST	Colombia	LOW	1		
11	10	990693	15	FROST	Colombia	LOW	1		
12	11	915347	34	FROST	Perú	HIGH	1		
13	12	986956	57	FROST	Perú	MEDIUM	2		
14	13	990466	24	FROST	Perú	MEDIUM	3		
15	14	998293	46	FROST	Perú	MEDIUM	1		
16	15	1064130	46	MATE NATURAL	Perú	LOW	2		
17	16	1064132	17	MATE NATURAL	Perú	LOW	2		
18	17	980181	59	SOFTWOOD	Perú	LOW	1		
19	18	980184	24	SOFTWOOD	Perú	MEDIUM	4		
20	19	980192	56	SOFTWOOD	Perú	LOW	3		
21	20	980197	15	SOFTWOOD	Perú	LOW	3		
22	21	999218	53	TXT	Perú	HIGH	1		
23	22	1065463	34	TXT	Perú	LOW	3		
24	23	991424	40	SEMI MATE	México	LOW	4		

Fuente: Elaboración propia.

Una vez ingresadas las órdenes de venta por parte del programador, se ejecuta el optimizador donde en primera instancia selecciona la terminación que posee mayor margen. Luego, comienza a seleccionar las órdenes de venta con mayor prioridad que correspondan a la terminación seleccionada y calcula el costo de oportunidad de tener el volumen en stock versus el costo de realizar un cambio de placa. En caso de que sea menor al costo de cambio de placa, se agrega la orden al plan de producción y se evalúa nuevamente si se cumple la restricción agregando la siguiente orden de venta que le siga en prioridad. Lo anterior, se repite hasta que al sumar una nueva orden de venta a la producción, el costo de oportunidad de la totalidad el volumen a producir sea mayor al costo de cambiar la placa, por lo que en este caso no se agrega la última orden de venta evaluada al plan de producción, se realiza un cambio de placa y se procede a evaluar nuevamente la restricción con la siguiente terminación que posea mayor margen. Una vez iterado el proceso para la totalidad de las órdenes de venta ingresadas, el resultado es una planilla como la que se muestra a continuación:

Ilustración 12: Vista hoja plan de producción

	A	B	C	D	E	F	G
1	Entrega	Material	Volumen	Terminación	Mercado	Prioridad	FPD
2	1	921776	59	FROST	Colombia	HIGH	1
3	8	986732	50	FROST	Colombia	HIGH	1
4	11	915347	34	FROST	Perú	HIGH	1
5	36	921812	18	FROST	Chile	HIGH	1
6	37	921814	43	FROST	Chile	HIGH	2
7	14	998293	46	FROST	Perú	MEDIUM	1
8	40	1064133	57	MATE NATURAL	Chile	HIGH	3
9	42	1220404	42	MATE NATURAL	Chile	MEDIUM	3
10	15	1064130	46	MATE NATURAL	Perú	LOW	2
11	16	1064132	17	MATE NATURAL	Perú	LOW	2
12	39	1064131	29	MATE NATURAL	Chile	LOW	4
13	41	1220403	59	MATE NATURAL	Chile	LOW	4
14	44	528986	40	SEMI MATE	Chile	HIGH	4
15	47	528990	55	SEMI MATE	Chile	MEDIUM	1
16	33	503596	54	SEMI MATE	México	MEDIUM	2
17	34	748863	39	SEMI MATE	México	MEDIUM	2
18	2	921953	19	SOFTWOOD	Colombia	HIGH	2
19	5	921996	45	SOFTWOOD	Colombia	HIGH	2
20	27	998541	49	SOFTWOOD	México	HIGH	3
21	50	1009472	56	SOFTWOOD	Chile	HIGH	3
22	24	940712	23	SOFTWOOD	México	MEDIUM	1
23	48	1008948	18	SOFTWOOD	Chile	MEDIUM	2

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente nos devuelve esta planilla que nos muestra el orden de programación de la producción, es decir, que terminación comenzar produciendo y cuanto volumen, indicando las órdenes de venta que integran el volumen a producir.

10. EVALUACIÓN DEL REDISEÑO

Una vez propuestos los rediseños como se mostró en el capítulo anterior, se procede a evaluar si estos aportan a la consecución del objetivo general de este trabajo, el cual es reducir los niveles de inventario y los costos de la empresa. A continuación se muestra la evaluación de estos dos puntos para cada uno de los rediseños.

10.1 Evaluación holguras de planificación

El impacto del rediseño de las holguras de planificación se debe evaluar a lo largo de toda la cadena, es decir, en primera instancia determinar en cuanto se reduce el lead time con el rediseño y, luego, evaluar en cuanto varían los niveles de inventario con estos nuevos lead time.

Para evaluar la variación del lead time se simulan órdenes de venta para los distintos mercados y se compara el lead en el escenario actual y luego en el escenario donde se implementa el rediseño. A continuación se muestran los resultados:

Tabla 29: Análisis reducción lead time

		Itinerario	Producción terminada	Zarpe nave	Despacho a puerto	Días en bodega	Días adelanto producción	Días reducción lead time
Colombia	Holgura fija	San Vicente - Buenaventura	06/11/2017 (Lunes)	21/11/2017 (Martes)	07/11/2017 (Martes)	1	0	0
	Holgura flexible	San Vicente - Buenaventura	31/10/2017 (Martes)	14/11/2017 (Martes)	31/10/2017 (Martes)	0	6	7
México	Holgura fija	Coronel - Manzanillo	06/11/2017 (Lunes)	26/11/2017 (Domingo)	12/11/2017 (Domingo)	6	0	0
	Holgura flexible	Coronel - Manzanillo	05/11/2017 (Domingo)	19/11/2017 (Domingo)	05/11/2017 (Domingo)	0	1	7
	Holgura fija	Lirquén - Manzanillo	06/11/2017 (Lunes)	22/11/2017 (Miércoles)	08/11/2017 (Miércoles)	2	0	0
	Holgura flexible	Lirquén - Manzanillo	01/11/2017 (Miércoles)	15/11/2017 (Miércoles)	01/11/2017 (Miércoles)	0	5	7
Perú	Holgura fija	Coronel - Callao	06/11/2017 (Lunes)	25/11/2017 (Sábado)	11/11/2017 (Sábado)	5	0	0
	Holgura flexible	Coronel - Callao	04/11/2017 (Sábado)	18/11/2017 (Sábado)	04/11/2017 (Sábado)	0	2	7
	Holgura fija	Lirquén - Callao	06/11/2017 (Lunes)	23/11/2017 (Jueves)	09/11/2017 (Jueves)	3	0	0
	Holgura flexible	Lirquén - Callao	02/11/2017 (Jueves)	16/11/2017 (Jueves)	02/11/2017 (Jueves)	0	4	7

Fuente: Elaboración propia.

La reducción del lead time para todos los mercados es de 7 días, el cual fue calculado como la suma de los días que iba a pasar en bodega según el escenario actual más los días que se adelantó su producción.

El siguiente paso para evaluar el impacto es volver a correr el modelo de administración de inventario que se utilizó en el capítulo 2 del presente trabajo pero modificando los parámetros correspondientes al lead time para los mercados de Colombia, México y Perú. Los nuevos niveles de stock obtenidos son los siguientes:

Tabla 30: Stock óptimo Colombia aplicando rediseño [USD]

COLOMBIA

LÍNEA	STOCK OPTIMO SIN REDISEÑO	STOCK OPTIMO CON REDISEÑO	DELTA STOCK	COSTO	DELTA STOCK
MDP	46.845	41.677	5.169	\$ 128.014	-11%
MDF	53.228	46.466	6.761	\$ 120.443	-13%
TOTAL	100.073	88.143	11.930	\$ 248.457	-12%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 31 : Stock óptimo Colombia aplicando rediseño [USD]

MEXICO

LÍNEA	STOCK OPTIMO SIN REDISEÑO	STOCK OPTIMO CON REDISEÑO	DELTA STOCK	COSTO	DELTA STOCK
MDP	76.581	68.676	7.904	\$ 185.879	-10%
MDF	283.048	262.775	20.273	\$ 405.346	-7%
TOTAL	359.629	331.451	28.178	\$ 591.225	-8%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32: Stock óptimo Colombia aplicando rediseño [USD]

PERÚ

LÍNEA	STOCK OPTIMO SIN REDISEÑO	STOCK OPTIMO CON REDISEÑO	DELTA STOCK	COSTO	DELTA STOCK
MDP	76.635	68.687	7.948	\$ 150.581	-10%
MDF	29.093	26.624	2.469	\$ 45.924	-8%
TOTAL	105.728	95.310	10.417	\$ 196.505	-10%

Fuente: Elaboración propia.

El costo que se muestra en las tablas anteriores se calculó como el costo de oportunidad de tener ese stock inmovilizado, usando la siguiente formula:

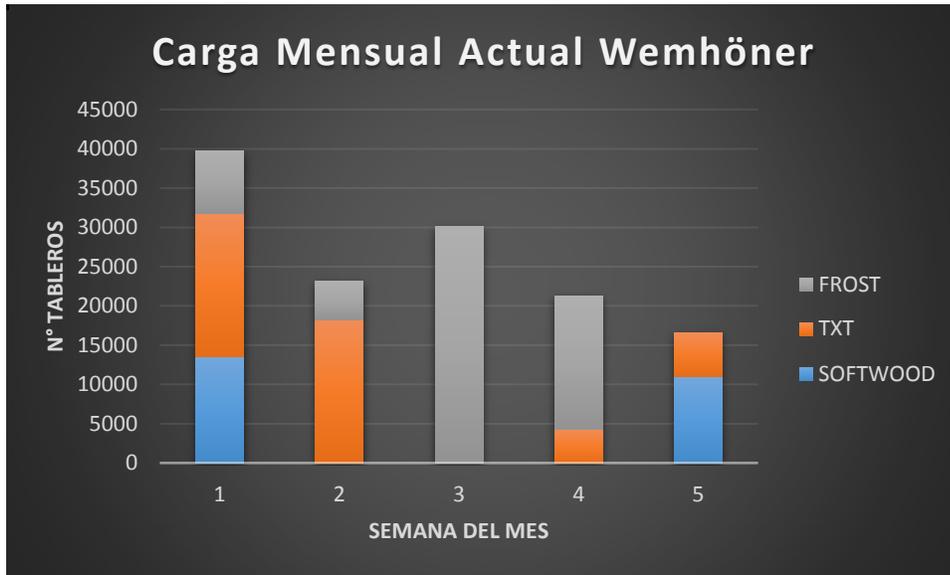
$$\text{COSTO DE OPORTUNIDAD} = \text{VOLUMEN} * \text{COSTO PROMEDIO PRODUCTOS} * \text{WACC}$$

El impacto total del rediseño considerando las 3 oficinas comerciales nos muestra un disminución en los niveles de stock de 565.430 m³ a 514.905 m³ anuales, lo que representa una disminución del 8.9%. Por otra parte, la valorización de esta disminución en los niveles de stock es de USD \$ 1.036.187.

10.2 Evaluación secuencia de producción

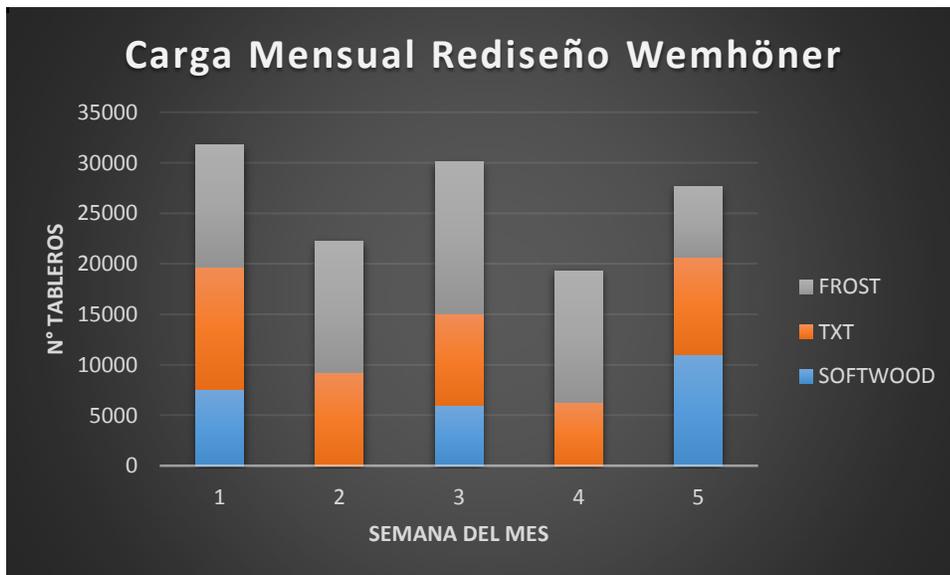
Para la evaluación del rediseño de la secuencia de producción, se contrastó la programación mensual del mes de abril del año 2017 de la prensa Wemhöner con la programación arrojada utilizando la optimización propuesta en la planilla del rediseño. A continuación se muestran las cargas asignadas a la prensa para los dos escenarios anteriormente descritos:

Ilustración 13: Carga mensual actual prensa Wemhöner



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 14: Carga mensual actual prensa Wemhöner



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que en el primer escenario, donde no se aplica el rediseño, se realizaron 5 cambios placa durante la programación del mes mientras que en la situación donde se implementa el rediseño, los cambios de placa aumentan a 8. El aumento en los cambios de placa provoca una variación en los niveles de stock de la bodega de productos terminados de la empresa. En la situación actual, de la totalidad de tableros producidos en una semana, aproximadamente 10.000 de ellos, lo que equivale a 700 m³, permanecen como stock inmovilizado por más de una semana debido a que se está produciendo 3 o 4 semanas antes de la fecha comprometida de producción. Por otra parte, evaluando el escenario donde se aplica el rediseño, semanalmente se produce lo que tiene fecha comprometida de producción a más tardar la semana siguiente por lo que no se posee stock inmovilizado por más de 1 semana.

Para evaluar el impacto económico del rediseño, se valoriza el stock inmovilizado anual que genera la prensa en la cual se está realizando el análisis, es decir, el costo de tener 36.400 m³ (700 m³/semana * 52 semanas) de productos terminados inmovilizados en bodega, se calcula el costo de oportunidad como se muestra a continuación:

$$\text{COSTO DE OPORTUNIDAD} = \text{VOLUMEN} * \text{COSTO PROMEDIO PRODUCTOS} * \text{WACC}$$

Donde se obtiene lo siguiente,

$$\text{Costo de oportunidad} = 36.400 \text{ m}^3 * 266 \text{ USD/m}^3 * 0.09 = \text{USD } \$ 871.416$$

Considerando el impacto total del rediseño se observa que se lograría reducir anualmente el nivel de inventario inmovilizado en 36.400 m³, lo que genera un ahorro en costos por USD \$ 871.416 por cada prensa en la que se implemente el rediseño propuesto.

11. CONCLUSIONES

Considerando el reciente aumento en la capacidad productiva de la empresa, donde destaca en el año 2016 la adquisición del 50% de las acciones de Tableros de Fibras S.A., una filial española de SONAE INDÚSTRIA, SGPS, S. A. (“Sonae”), que a partir de esa fecha ha pasado a denominarse “Sonae Arauco S.A.”. En total, la capacidad de producción de Sonae Arauco es de aproximadamente 1,45 millones de m³ de MDF, 2,27 millones de m³ de PB, 460.000 m³ de OSB y 100.000 m³ de madera aserrada. Esta estrategia de la empresa que busca aumentar su oferta y llegar a nuevos mercados, debe ser acompañada con un adecuado manejo de sus niveles de stock ya que si esto no opera con efectividad se pueden incurrir en ventas perdidas en caso de no poseer stock suficiente o, por otra parte, en niveles de stock por sobre el óptimo, lo que implica incurrir en sobre costos para la empresa y que fue lo que se diagnosticó en el presente trabajo.

Para la realización adecuada de este trabajo, resulto fundamental escoger la metodología adecuada, en este caso, la propuesta por Oscar Barros. En trabajos que conllevan un horizonte temporal extenso, tener una estructura de trabajo adecuada y eficiente genera que se pueda seguir una ruta crítica donde cada hito está relacionado con el siguiente mediante un orden lógico. Por otra parte, se considera relevante el hecho de seguir una metodología que va en la línea de mejora continua en vez de una más disruptiva en cuanto al rediseño de los procesos. Esto, ya que la empresa en donde se realizó el presente trabajo contaba con procesos que en general estaban bien estructurados por lo que no era necesario eliminar el proceso por completo y generar uno nuevo, sino más bien detectar aquellas partes del proceso que podían ser optimizadas mediante un rediseño.

Al iniciar el trabajo, fue de vital importancia poder entender acabadamente el completo funcionamiento de la cadena de administración de inventario, desde que se proyectaban las ventas futuras hasta que se despachaban los productos a destino. También, visitar las plantas productivas y entrevistarse con funcionarios y operarios a todo nivel de la cadena aporta a poder realizar un levantamiento de procesos objetivo y sin sesgos derivados de los juicios de los funcionarios. El levantamiento de procesos permitió detectar falencias en los actuales procesos de la empresa, tanto en aquellos que impactan los niveles de inventario debido a la variación de la demanda, donde en este caso se encontraron grandes falencias en las estimaciones de demanda que efectuaban mes a mes los vendedores, generando problemas de sobre stock en caso de sobre estimar la demanda o problemas de quiebre de stock en caso de subestimar la demanda. Por otra parte, se detectaron procesos conflictivos que impactaban los niveles de inventario debido a la variación de la oferta, específicamente en los procesos productivos que tenían relación con la definición de las holguras que se tomaban para planificar la producción, donde se encontraron que los productos pasaban en promedio entre 9 y 14 días inmovilizados en bodega esperando a ser despachados y, por otra parte, con la forma en que definían semanalmente las secuencias de producción, donde los programadores de producción definían la secuencia de producción teniendo como referencia un horizonte de 4 o 5 semanas de órdenes de venta con el fin de poder

acumular la mayor cantidad de productos de una misma terminación para realizar la menor cantidad de cambios de placa lo que conlleva disminuir la eficiencia de la maquina pero genera peak de stock que estarán inmovilizados por 3 o más semanas hasta ser despachados.

El rediseño planteado en el presente trabajo apunta a aquellos procesos que tenían relación con la varianza de la oferta, es decir, determinación de holguras de planificación y secuencia de producción. El rediseño propuesto en cuanto las holguras de planificación impacta reduciendo los lead time de los productos en 7 días para todos los mercados, lo que finalmente se transforma en una reducción de los niveles de stock optimo decreciendo de 565.430 m³ a 514.905 m³ anuales, lo que representa una disminución del 8.9%. La valorización de esta disminución en los niveles de stock es de USD \$ 1.036.187. El rediseño de la de secuencia de producción, genera un aumento en los cambios de placa de las maquinas, por lo que no se producen largas tandas de cada terminación de producto, sino que se produce hasta que el costo de oportunidad de tener el volumen producido en stock es igual al costo de realizar un cambio de placa. Este rediseño impacto reduciendo los niveles de stock que poseía la empresa en bodegas de productos terminados, logrando reducir anualmente el nivel de inventario inmovilizado en 36.400 m³, lo que genera un ahorro en costos por USD \$ 871.416 por cada prensa en la que se implemente el rediseño propuesto. Sumados la reducción en costos que generan estos 2 rediseños, se llega a un total de USD \$1.907604 lo cual representa un 15,7% de la totalidad de los costos que posee la empresa por concepto de mal manejo de stock.

Finalmente, se concluye que efectivamente la empresa posee deficiencias en sus niveles de inventario lo cual se hace imperativo resolver debido a la estrategia de expansión en la cual está inmersa. Mediante el presente trabajo se propusieron rediseños para los procesos que tenían relación con varianza de la oferta. Sin embargo, se recomienda fuertemente hacerse cargo de las deficiencias en cuanto a la estimación de demanda que realizan actualmente, ya que los inventarios de seguridad se generan a partir de la varianza tanto de la oferta como de la demanda por lo que hacerse cargo de estos dos frentes le permitirá a la empresa lograr sinergia en cuanto a las mejoras que se logren.

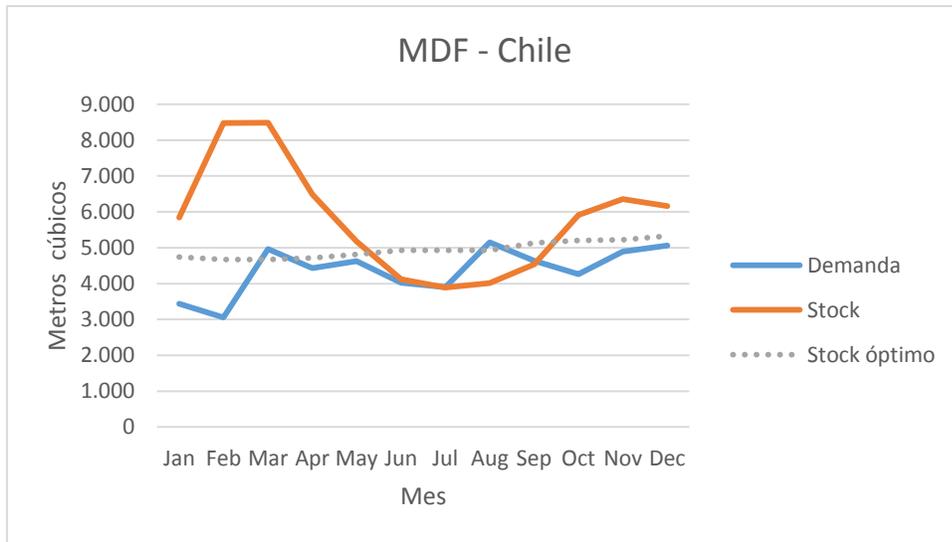
12. BIBLIOGRAFIA

- 1) Barros, Oscar. 2003. Rediseño de procesos de negocios usando patrones.
- 2) Chase, Richard B; Jacobs, F.Robert; Aquilano, Nicholas J. 2009. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministro.
- 3) Schroeder, Roger. 1992. Administración de Operaciones.
- 4) Womack, James; Jones, Daniel. 2003. Lean Thinking.
- 5) Escalante, Edgardo. 2005. Seis-Sigma: metodología y técnicas.
- 6) BPMN, Diseño de Procesos de Negocios. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- 7) REDISEÑO DE PROCESOS DE ABASTECIMIENTO DE CLÍNICA INTEGRAMÉDICA EN EL ÁMBITO DE LA GESTIÓN, German Leiva Muñoz (2009).
- 8) ARAUCO S.A. Memoria anual año 2016. [En línea]
<http://www.arauco.cl/na/wp-content/uploads/sites/23/2017/07/1-Memoria-Anual-2016-1.pdf> [consulta: 14 de julio de 2017]

13. ANEXOS

ANEXO A: Análisis stock línea MDF

Ilustración 15: MDF - Chile



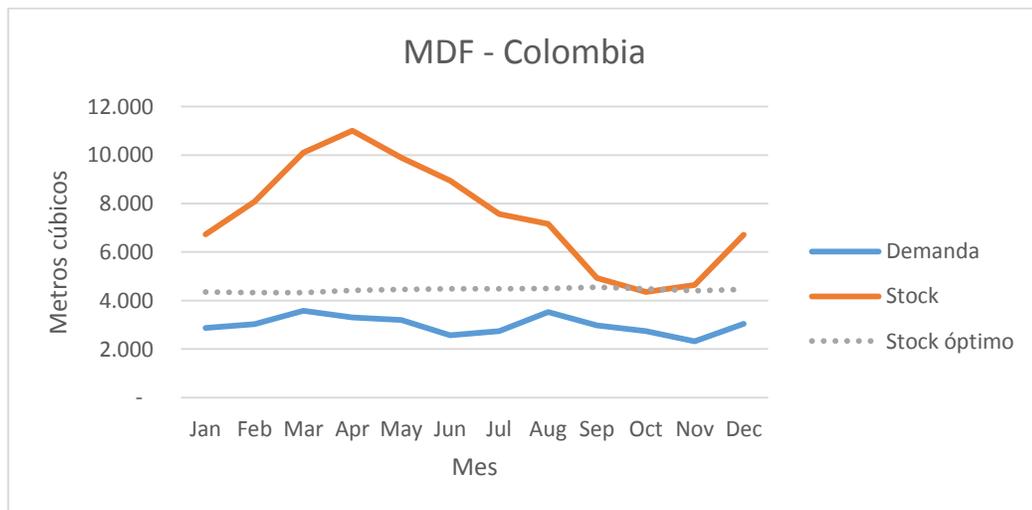
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33: Resumen MDF - Chile

MDF	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Stock [m3]	5.837	8.478	8.484	6.490	5.176	4.124	3.892	4.017	4.538	5.913	6.360	6.159	69.468
Stock óptimo [m3]	4.739	4.667	4.669	4.718	4.815	4.927	4.926	4.929	5.131	5.207	5.219	5.327	59.275
Sobre stock [m3]	1.098	3.811	3.815	1.772	361	- 803	- 1.034	- 912	- 593	706	1.141	832	10.194

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 16: MDF - Colombia



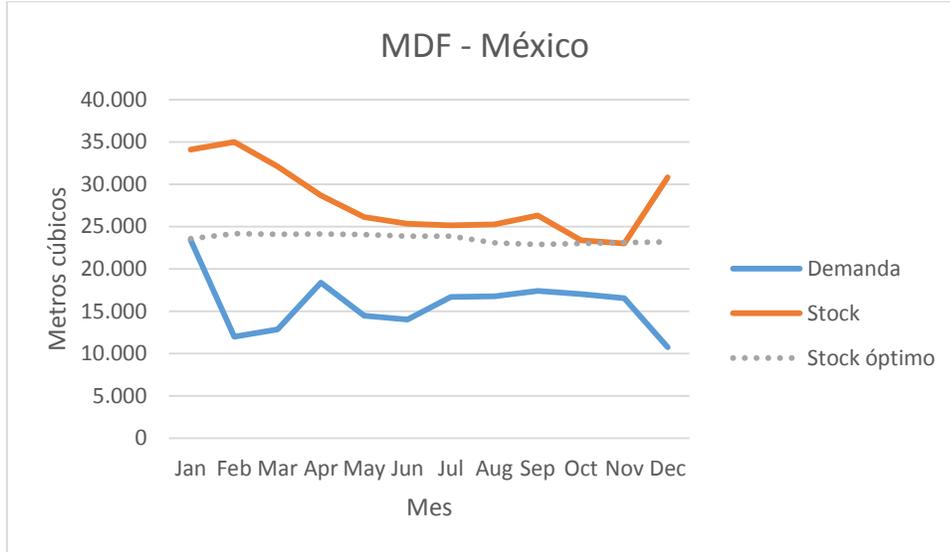
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34: Resumen MDF - Colombia

MDF	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Stock [m3]	6.722	8.082	10.093	11.000	9.895	8.950	7.560	7.154	4.929	4.355	4.641	6.709	90.088
Stock óptimo [m3]	4.346	4.324	4.321	4.420	4.456	4.482	4.488	4.492	4.552	4.477	4.410	4.460	53.228
Sobre stock [m3]	2.375	3.758	5.772	6.580	5.439	4.468	3.072	2.662	377	- 122	231	2.249	36.861

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 17: MDP - México



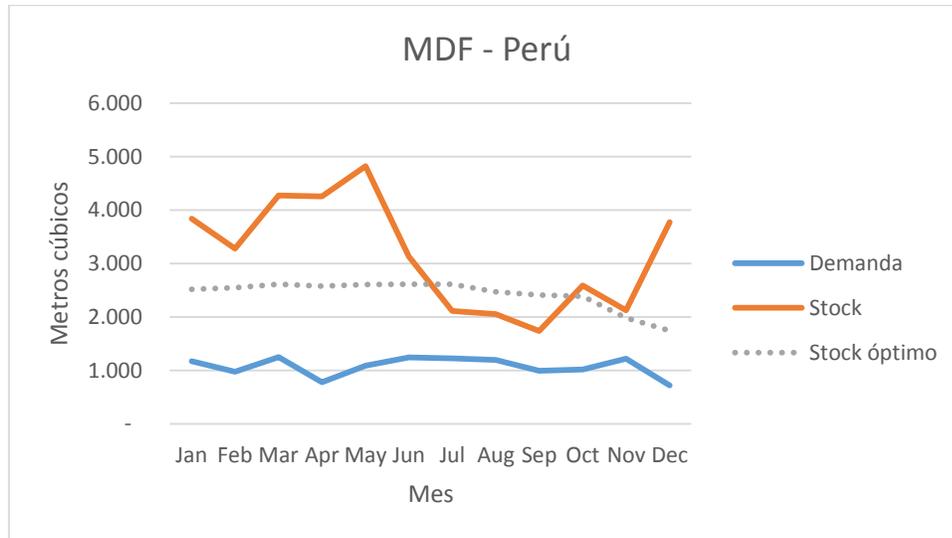
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35: Resumen MDF - México

MDF	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Stock [m3]	34.102	34.999	32.119	28.699	26.128	25.328	25.158	25.274	26.333	23.397	23.020	30.842	335.399
Stock óptimo [m3]	23.568	24.154	24.094	24.117	24.055	23.889	23.855	23.087	22.901	23.011	23.133	23.183	283.048
Sobre stock [m3]	10.535	10.844	8.025	4.582	2.073	1.438	1.304	2.187	3.432	386	- 114	7.658	52.351

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 18: MDF - Perú



Fuente: Elaboración propia.

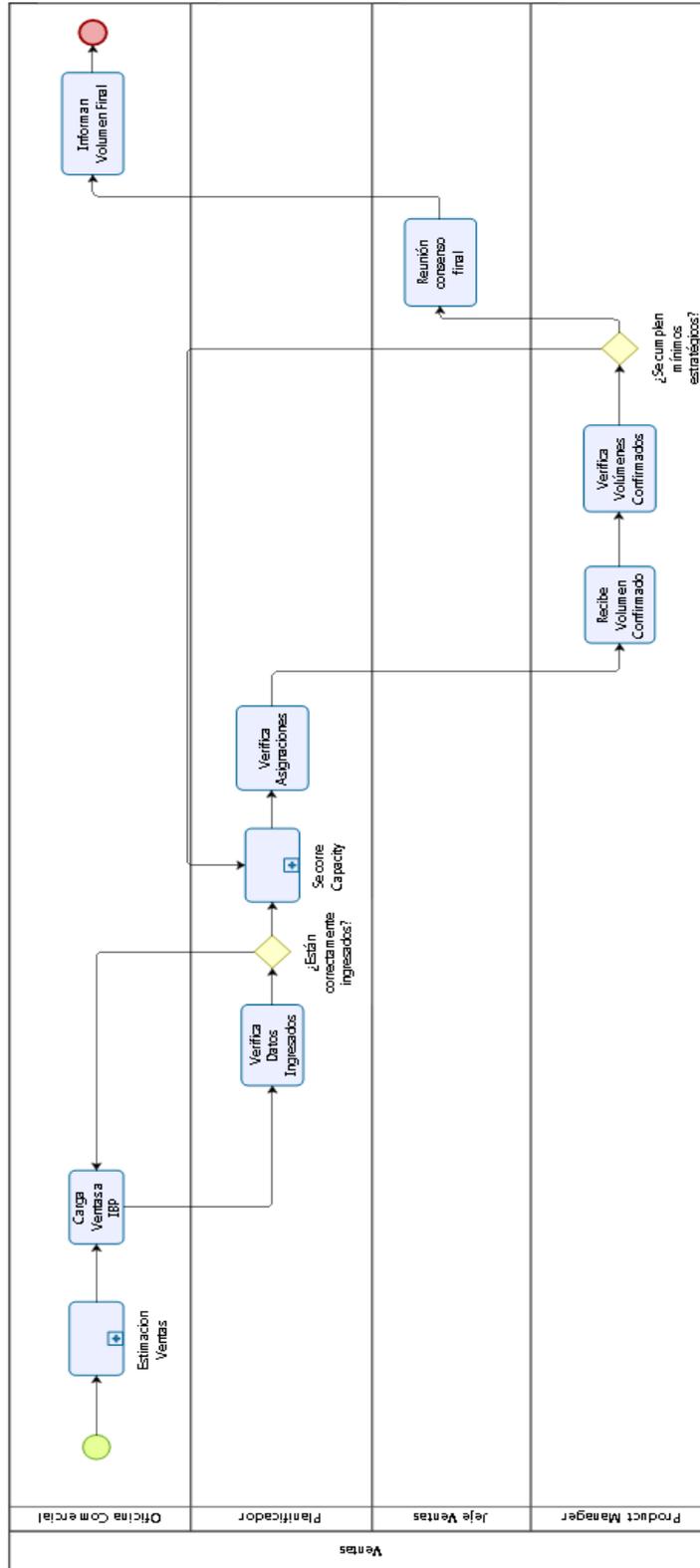
Tabla 36: Resumen MDF - Perú

MDF	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
Stock [m3]	3.841	3.278	4.276	4.259	4.819	3.130	2.113	2.052	1.736	2.587	2.126	3.777	37.993
Stock óptimo [m3]	2.519	2.550	2.615	2.577	2.610	2.615	2.611	2.470	2.410	2.385	1.985	1.747	29.093
Sobre stock [m3]	1.322	728	1.661	1.682	2.209	516	- 498	- 418	- 675	202	141	2.030	8.900

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO B: BPMN Planificación Demanda

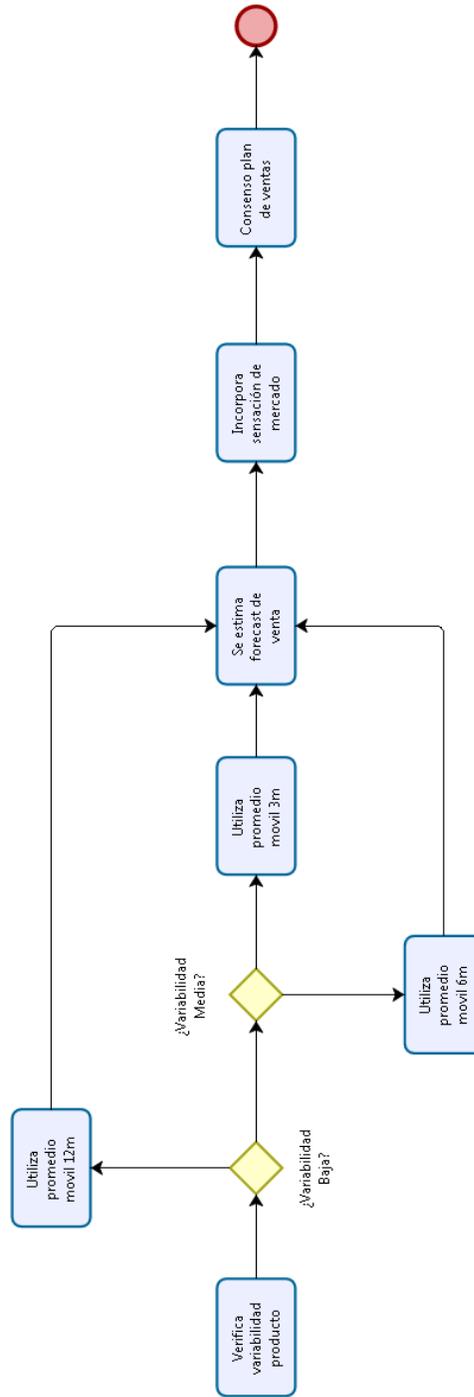
Ilustración 19: BPMN planificación demanda



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C: BPMN Estimación Ventas

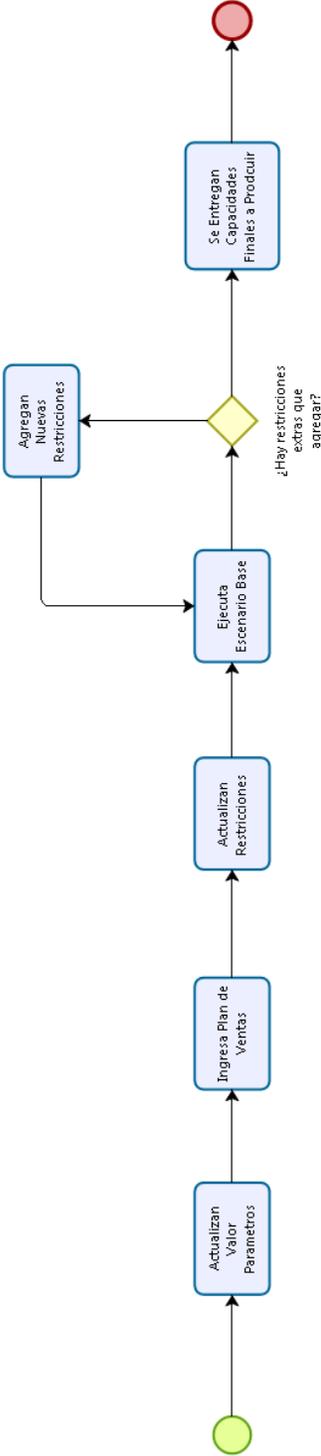
Ilustración 20: BPMN estimación ventas



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO D: BPMN Modelo Capacity

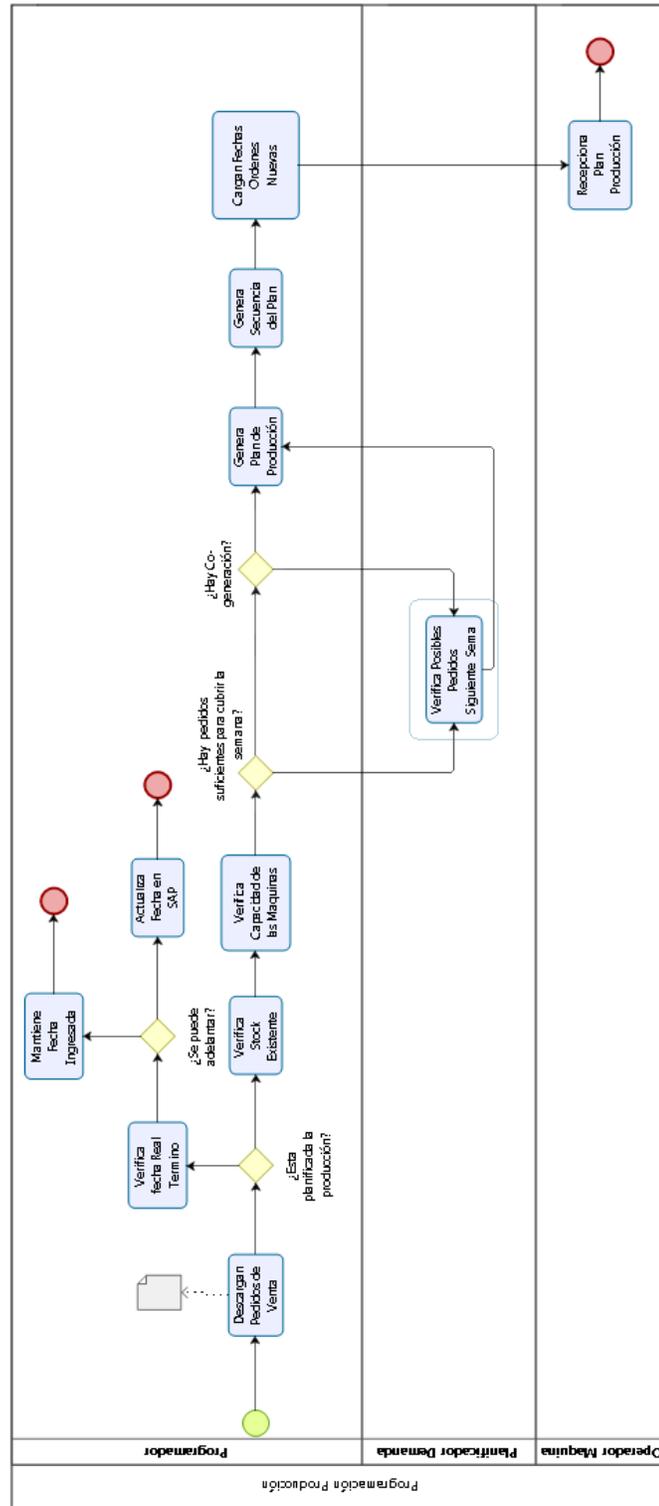
Ilustración 21: BPMN modelo capacity



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO E: BPMN Programación Producción

Ilustración 22: BPMN programación producción



Fuente: Elaboración propia.

ANEXO F: Análisis MAPE Colombia, México y Perú

MAPE líneas MDP y MDF. Colombia

Tabla 37: Análisis MAPE línea MDP y MDF Colombia

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDF	44%	15%	1%	9%	10%	29%	18%
MDP	21%	20%	28%	12%	1%	26%	18%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDF desagregado a categoría de producto. Colombia

Tabla 38: Análisis MAPE subfamilia línea MDF Colombia

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDF_DES	48%	13%	5%	6%	11%	33%	19%
MDF_DUR	39%	52%	19%	20%	99%	454%	114%
MDF_MNA	0%	23%	88%	57%	5%	13%	31%
MDF_RAN	87%	91%	58%	19%	35%	15%	51%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDP desagregado a categoría de producto. Colombia

Tabla 39: Análisis MAPE subfamilia línea MDP Colombia

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDP_DES	80%	170%	157%	103%	7%	31%	91%
MDP_MNA	18%	15%	24%	9%	1%	26%	16%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDF desagregado por producto. Colombia

Tabla 40: Análisis MAPE por producto línea MDF Colombia

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
505167	0%	0%	0%	0%	2749%	360%	1555%
505169	254%	19%	436%	0%	222%	41%	194%
505172	76%	137%	2390%	411%	141%	45%	533%
747792	21%	120%	10%	110%	0%	22%	56%
747794	0%	0%	0%	0%	115%	63%	89%
747798	786%	123%	0%	60%	0%	55%	256%
986532	15%	21%	33%	41%	51%	47%	35%
986533	41%	130%	6%	2%	11%	29%	37%
986534	0%	76%	47%	0%	0%	51%	58%
986535	217%	67%	44%	626%	152%	41%	191%
994604	71%	41%	88%	88%	81%	460%	138%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDP desagregado por producto. Colombia

Tabla 41: Análisis MAPE por producto línea MDP Colombia

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
989003	902%	170%	281%	80%	253%	1610%	549%
989004	77%	135%	38%	33%	13%	56%	59%
989005	1348%	212%	588%	18%	123%	1141%	572%
989006	3%	8%	28%	12%	5%	47%	17%
990403	337%	257%	14%	195%	14%	241%	176%
990404	3%	6%	20%	3%	24%	9%	11%
990405	224%	330%	399%	2811%	391%	1281%	906%
990406	44%	190%	228%	98%	105%	196%	143%
994732	181%	48%	19%	4%	73%	26%	58%
998001	68%	49%	57%	45%	75%	63%	59%
998003	0%	75%	71%	0%	0%	20%	55%
998316	0%	0%	0%	0%	0%	380%	380%
998318	0%	100%	0%	0%	0%	0%	100%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE líneas MDP y MDF. México

Tabla 42: Análisis MAPE línea MDP y MDF México

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDF	10%	6%	12%	0%	3%	5%	6%
MDP	3%	14%	16%	20%	8%	11%	12%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDF desagregado a categoría de producto. México

Tabla 43: Análisis MAPE subfamilia línea MDF México

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDF_DES	8%	7%	13%	2%	4%	6%	7%
MDF_DUR	69%	0%	100%	75%	93%	100%	88%
MDF_ENC	31%	23%	4%	5%	3%	13%	13%
MDF_MNA	49%	6%	11%	27%	10%	12%	19%
MDF_RAN	49%	6%	11%	27%	10%	12%	19%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDP desagregado a categoría de producto. México

Tabla 44: Análisis MAPE subfamilia línea MDP México

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDP_DES	97%	100%	93%	97%	100%	0%	97%
MDP_MNA	3%	14%	4%	20%	7%	11%	10%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDF desagregado por producto. México

Tabla 45: Análisis MAPE por producto línea MDF México

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
1004838	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%
1005160	3%	15%	79%	78%	46%	89%	52%
1005161	24%	5%	26%	38%	24%	67%	31%
1005162	29%	5%	17%	31%	31%	69%	30%
1005163	64%	7%	3%	29%	5%	37%	24%
505153	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%
505154	7%	49%	42%	16%	130%	0%	49%
705186	0%	0%	50%	0%	0%	0%	50%
747750	1682%	403%	0%	378%	0%	0%	821%
803804	0%	0%	0%	0%	0%	1116%	1116%
803815	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%
990888	79%	82%	60%	75%	76%	84%	76%
990889	60%	78%	33%	57%	54%	47%	55%
990890	50%	54%	9%	49%	34%	19%	36%
990891	58%	48%	14%	33%	29%	26%	35%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDP desagregado por producto. México

Tabla 46: Análisis MAPE por producto línea MDP México

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
1002196	0%	0%	0%	0%	0%	1582%	1582%
1002214	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
1006555	0%	50%	659%	0%	0%	0%	354%
997589	327%	29%	0%	0%	0%	722%	360%
997590	21%	0%	0%	0%	0%	0%	21%
998304	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
998308	0%	0%	0%	0%	0%	58%	58%
998310	0%	608%	0%	0%	0%	0%	608%
998312	0%	442%	0%	0%	0%	0%	442%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE líneas MDP y MDF. Perú

Tabla 47: Análisis MAPE línea MDP y MDF Perú

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDF	42%	48%	60%	91%	20%	0%	44%
MDP	1%	6%	0%	10%	19%	12%	8%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDF desagregado a categoría de producto. Perú

Tabla 48: Análisis MAPE subfamilia línea MDF Perú

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDF_DES	37%	39%	50%	127%	10%	9%	45%
MDF_DUR	88%	47%	101%	63%	35%	13%	58%
MDF_MNA	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%
MDF_RAN	24%	95%	62%	35%	51%	13%	47%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDP desagregado a categoría de producto. Perú

Tabla 49: Análisis MAPE subfamilia línea MDP Perú

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
MDP_DES	5%	25%	12%	151%	47%	100%	57%
MDP_MNA	2%	4%	1%	11%	17%	12%	8%

Fuente: Elaboración propia.

MAPE línea MDF desagregado por producto. Perú

Tabla 50: Análisis MAPE por producto línea MDF Perú

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
1032546	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
1032547	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
505172	1977%	343%	276%	1985%	295%	208%	847%
747792	302%	791%	1907%	2993%	3121%	1727%	1807%
747794	1998%	933%	1173%	5279%	0%	677%	2012%
747798	1994%	304%	1416%	0%	0%	538%	1063%

Fuente: Elaboración propia.

**MAPE línea MDP desa
gregado por producto. Perú**

Tabla 51: Análisis MAPE por producto línea MDP Perú

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	
	Error Absoluto						MAPE
921132	1253%	0%	0%	0%	46%	100%	466%
921134	37%	28%	9%	0%	85%	100%	52%
921135	74%	0%	0%	0%	0%	0%	74%
921136	43%	17%	967%	0%	11%	100%	228%
921138	20%	8%	32%	30%	72%	100%	44%
987821	0%	0%	0%	0%	100%	0%	100%

Fuente: Elaboración propia.