

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento de Economía, Administración y Mercadología

Especialidad en Gestión de la Cadena de Suministro



Alternativas para manejo de exceso de inventario de producto terminado y definición de política de inventario de refacciones

Formación complementaria y proyecto de impacto en un
área de especialización para la obtención de grado de
Especialista en Gestión de la Cadena de Suministro

Presenta: Fernando Saldaña López de Lara

Tlaquepaque, Jalisco, julio de 2022.

Contenido

Introducción	3
1. Fundamentación del trabajo	4
1.1. Descripción del escenario.....	4
1.2. Descripción del contexto de la empresa y de la industria	4
1.3. Problemática y fundamentación.....	5
1.4. Delimitación de las áreas a intervenir	6
1.5. Propósito de la intervención y su pertinencia.....	7
2. Marco conceptual	7
2.1. Estado de la cuestión.....	7
2.2. Desarrollo de conceptos y enfoques teórico-prácticos que delimiten el problema	8
2.3. Caracterización de las herramientas analíticas, tecnológicas o de innovación consideradas en el trabajo	9
2.4. Identificación, descripción y cuantificación de métricos iniciales	9
3. Estrategia de intervención	11
3.1. Diagnóstico	11
3.2. Justificación de la estrategia de intervención	12
3.3. Herramientas e instrumentos	13
3.4. Plan de trabajo.....	14
3.4.1. Cronograma.....	14
3.5. Intervención.....	14
3.5.1. Modelo de planeación agregada.....	14
3.5.2. Modelo de manejo de inventarios de revisión continua con multiperiodos	24
4. Exposición de hallazgos	30
Conclusiones	33
Referencias y bibliografías	34

Introducción

El presente Trabajo de Obtención de Grado tiene como objetivo proponer, definir, implementar y analizar modelos de planeación para una empresa de origen sudamericano dedicada a la fabricación y comercialización de tableros de partículas, también conocidos como tableros de aglomerado.

La intervención a la empresa Tableros de Aglomerado de México S.A. de C.V. consiste en atacar dos problemáticas a las cuales se enfrenta en el momento de la medición de métricos iniciales: exceso de inventario de producto terminado en meses de baja demanda y falta de definición de política de inventario para refacciones de maquinaria para producción.

Al finalizar la intervención se espera tener las herramientas para elegir la mejor alternativa sobre qué hacer con el exceso de inventario de producto terminado, al igual que definir la política de inventario de refacciones que permita ordenar la cantidad de piezas adecuada y en el momento indicado.

En ambos casos se buscará minimizar los costos productivos y logísticos de la empresa, haciendo uso de las herramientas diseñadas; de esa forma, se buscará maximizar las utilidades al finalizar el año.

1. Fundamentación del trabajo

1.1. Descripción del escenario

Tableros de Aglomerado de México S.A. de C.V. es una empresa multinacional con origen sudamericano, cuya filial en México fue fundada en el año 2000, en la ciudad de Guadalajara. Su principal negocio es la importación y comercialización de tableros de fibra de madera y aglomerado, provenientes de tres países distintos de Sudamérica.

La compañía ha tenido gran crecimiento durante sus años de operación en México, incrementando el volumen de sus ventas y ganando cada vez mayor presencia en el sector de productos forestales y sus derivados. Tiene clientes distribuidos por toda la república, a los cuales ofrece el servicio de entrega de los contenedores en sus instalaciones, después de que son introducidos al país por alguna de las diferentes aduanas marítimas que utiliza.

Cuenta también con seis centros de almacenaje y distribución ubicados en puntos estratégicos del país desde los cuales puede surtir a sus clientes.

1.2. Descripción del contexto de la empresa y de la industria

Debido a los conocimientos que se tenían sobre el mercado después de tantos años de experiencia en él, se llegó a la conclusión de que la empresa tenía oportunidad de abarcar mayor parte del mercado; como resultado, en 2018 se decidió por aventurarse en la producción nacional de los mismos tableros de aglomerado y fibra de madera, para lo cual se adquirió una planta productora ubicada en Durango en 2019, iniciando operaciones de producción a mediados del 2020.

1.3. Problemática y fundamentación

Al iniciar con la producción, venta y almacenajes de tableros en 2020, se tuvo una demanda del producto como se pronosticó previo al arranque de operaciones. Se manejó un plan de producción que permitía satisfacer la demanda en su totalidad y, al mismo tiempo, se tenía un inventario final al terminar el mes. Al llegar al cuarto mes del año 2021, la empresa se percató de una disminución considerable en las ventas debido que muchos de sus clientes cerraban o disminuían sus pedidos por las fiestas religiosas de semana santa y pascua; por ende, al finalizar ese mes se tuvo un gran incremento de inventario que sobrepasaba la capacidad de almacenaje de la planta productiva. La disminución del volumen de ventas de tableros continúa baja por los siguientes seis meses, lo que indica que la problemática permanece durante ese periodo de tiempo.

Para la producción de los tableros de aglomerado, también conocido como tablero de partículas, se utiliza maquinaria que tritura la madera hasta convertirla en astillas y, una vez triturada, se les añade otros elementos que las mantendrá pegadas las unas a las otras para después pasar por otras máquinas que darán la forma final de los tableros. La maquinaria emplea juegos de cuchillas de metal para triturar la madera, las cuales se desgastan con el paso del tiempo y de su uso para la producción. Las cuchillas se adquieren de un proveedor en Alemania y son trasladadas a México por medio de transporte marítimo. Debido a la cambiante demanda de los tableros y, por ende, al cambiante nivel de fabricación de estos, el uso de las cuchillas para la producción varía mes con mes. El método para verificar el nivel de inventario de estas refacciones es visualmente por parte del encargado de planta, es decir, la persona revisa ocasionalmente el número de piezas restantes en inventario y notifica al

área de compras, cuando considera necesario, que es momento de hacer un nuevo pedido al proveedor.

La problemática causada por este método de verificación del inventario es que, al no tener un nivel de inventario establecido, los puntos de reorden de las cuchillas son muy variables y, en ocasiones, los tiempos de entrega de los proveedores son más extensos que cuando se requieren las refacciones en planta. En otras palabras, cuando se percatan de la necesidad de reabastecer su inventario de cuchillas, es demasiado tarde para el tiempo de entrega del proveedor alemán.

Esto ha ocasionado que la empresa se vea obligada a contratar transporte aéreo de manera urgente para llevar las cuchillas a planta, el cual es considerablemente más caro que el transporte marítimo, causando que se incrementen los costos logísticos en formas imprevistas.

El problema al que se enfrenta la empresa es el de decidir la forma en la que se va a gestionar el exceso de inventario, la cual permita maximizar las ganancias totales al final del año.

De igual forma, lidia con la problemática de la falta de política de inventario de las refacciones que resulta en el incremento de sus costos logísticos.

1.4. Delimitación de las áreas a intervenir

La intervención del proyecto estará enfocada principalmente al área de producción y almacén de la planta de tableros; sin embargo, otras áreas de la empresa como compras, bodegas y transporte también se contemplan como parte del plan.

1.5. Propósito de la intervención y su pertinencia

Este proyecto tiene como objetivo mantener el inventario de producto terminado en un nivel inferior a 7,500 m³ durante todos los meses del año, incluyendo los periodos de baja demanda, obteniendo el mayor margen de utilidad posible.

De igual forma, se tiene la meta de estandarizar los costos logísticos por transacción y disminuirlos en un 80% en comparación con los causados en la primera mitad del año 2022.

Se planea que la intervención represente un ahorro para la empresa donde, en periodos anteriores, se tuvieron gastos muy elevados.

2. Marco conceptual

2.1. Estado de la cuestión

En un estudio realizado se analiza cómo la gestión de la oferta y la demanda, mediante la planeación de Sales and Operations (Sales and OP.), puede mejorar el desempeño cuando se aplica a productos con predictibilidad variable. Se realiza un ejemplo de solución de un caso de planeación agregada mediante el software LINGO. (Anand Jayakumar, Krishnaraj y S. R. Kasthuri Raj (2016)

En el capítulo 8: “Planeación agregada en una cadena de suministro”, del libro *Administración de la cadena de suministro*, se habla de la planeación agregada como un método para la toma de decisiones en producción e inventarios, entre otros aspectos, en una cadena de suministros. Al igual que en la fuente anterior, se explica cómo se formula y se resuelve un caso de planeación agregada utilizando la herramienta Solver en Microsoft Excel. (Chopra y Meindl, 2013)

En el capítulo 2.8: *Inventory management*, del libro *Gower Handbook of Supply Chain Management*, el autor indica la importancia de mantener un nivel de inventario óptimo, lo suficiente como para protegerse de variaciones en la demanda, pero no tan grande como para representar un costo demasiado alto por mantenerlo. Dichos inventarios no constan sólo de materias primas o producto terminado, sino también de refacciones, las cuales son parte sumamente importante de un proceso de producción. (Gattorna, 2016)

2.2. Desarrollo de conceptos y enfoques teórico-prácticos que delimiten el problema

Planeación agregada: proceso mediante el cual una compañía determina los niveles ideales de capacidad, producción, subcontratación, inventario, faltantes e incluso precios, durante un horizonte de tiempo específico. (Chopra, S. y Meindl, Peter., 2013)

Capacidad de almacenaje: volumen máximo de un producto o material que se puede almacenar o guardar en una instalación determinada.

Sales and Op: aspecto de la planeación de la cadena de suministros que tiene como objetivo crear un plan de negocio, consensuando áreas clave de la empresa incluyendo producción, transporte y finanzas. (Demandcaster, s.f.)

Inventario cíclico: el necesario para satisfacer la demanda entre reabastecimientos de materiales. (Gattorna, J., 2016)

Inventario de seguridad: inventario adicional que se mantiene para protegerse de variaciones en la cadena de suministro y mantener un nivel de servicio alto. (Gattorna, J., 2016)

Tamaño de la orden: cantidad de producto que se le va a pedir al proveedor, para que éste abastezca a la empresa.

2.3. Caracterización de las herramientas analíticas, tecnológicas o de innovación consideradas en el trabajo

Como herramienta para el proyecto, se va a utilizar un modelo de planeación agregada y de Sales and Op. en el que se van a introducir los datos métricos de producción de tableros. Una vez realizado el modelo, se va a utilizar la herramienta de Microsoft Excel: “Solver”, la cual es una herramienta de análisis de datos que permite maximizar o minimizar un dato establecido, mediante restricciones lógicas que se le indican.

Se eligió esa herramienta debido a que permite introducir un gran número de datos numéricos para que sean tomados en cuenta durante el cálculo; de esa forma, todos los datos introducidos en Solver son considerados para optimizar el modelo.

Se utilizará también un modelo de manejo de inventarios de revisión continua con multiperiodos creado en Microsoft Excel, en el cual se introducen los datos necesarios para cumplir con los factores de la fórmula para definir el tamaño de la orden, punto de reorden e inventario de seguridad.

2.4. Identificación, descripción y cuantificación de métricos iniciales

En la siguiente tabla se muestran los datos métricos iniciales que representan las ventas pronosticadas por mes durante el año 2023. El volumen de producción de cada mes se suma con el inventario del mes anterior, al resultado se le restan las ventas pronosticadas y se

obtiene nuevamente un inventario al terminar cada periodo. Durante los primeros tres meses, se obtiene un inventario final de tableros que está dentro de la capacidad de almacenaje de la planta productora; sin embargo, en los seis meses posteriores se presenta una disminución en el volumen de ventas mientras se mantiene un alto volumen de producción, por lo que se obtienen inventarios finales que exceden la capacidad de almacenaje de 7,500m³, los cuales están resaltados en color rojo en la Tabla 1.

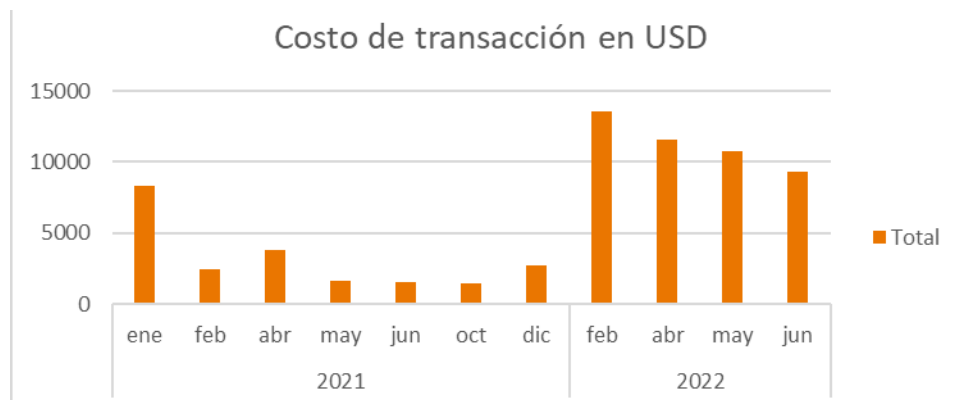
Tabla 1. Niveles de producción, venta e inventario pronosticados en el año 2023.

Línea producción tableros	UM	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23
Capacidad de producción	m3	8501	7771	8967	7771	8668	7501	6553	5897	5461	6898	8047	6300
Volumen de Producción	m3	8121	7423	8565	7423	8280	7165	6259	5633	5216	6589	7687	6018
Ventas	m3	8022	8003	7392	4070	6490	7008	6594	6316	8382	8334	8424	6489
Inventario	m3	6937	6357	7530	10884	12673	12831	12495	11813	8647	6901	6164	5693

Nota: datos propios.

En la gráfica mostrada a continuación, se presentan los costos de transacción de los pedidos a proveedor por las refacciones, es decir, la cantidad de dinero que se requirió para traer las cuchillas desde la planta del proveedor en Alemania hasta la planta productora en Durango; los costos de transacción no incluyen el costo de los materiales en sí, únicamente el monto de gastos realizados. En 2021 se tuvo un alto costo de transacción de la primera orden al proveedor, mientras que el resto del año se tuvieron costos más controlados; sin embargo, en los primeros 6 meses del 2022 se han tenido 4 operaciones con costos muy por encima del promedio, en los pedidos realizados en febrero, abril, mayo y junio.

Gráfica 1. Costos de transacción de las operaciones de compra de cuchillas de los años 2021 y 2022.



Nota: datos propios.

El total del costo de las transacciones del 2021 fue de \$21,956.48 USD mientras que el acumulado de los primeros 6 meses del 2022 es de \$45,236.17 USD, un 206% más elevado.

Los incrementos en los costos son causados por distintas variaciones a lo largo de la cadena de suministro de las cuchillas, desde los tiempos de entrega del proveedor y el tránsito marítimo, hasta las variaciones en la demanda y producción de los tableros. Al fallar en definir la política de inventario correcta para las refacciones, se tiene un escaso control en ese tramo de su cadena de suministro y se obtienen unos costos elevados por verse obligados en contratar transporte aéreo hasta por \$9,500 USD.

3. Estrategia de intervención

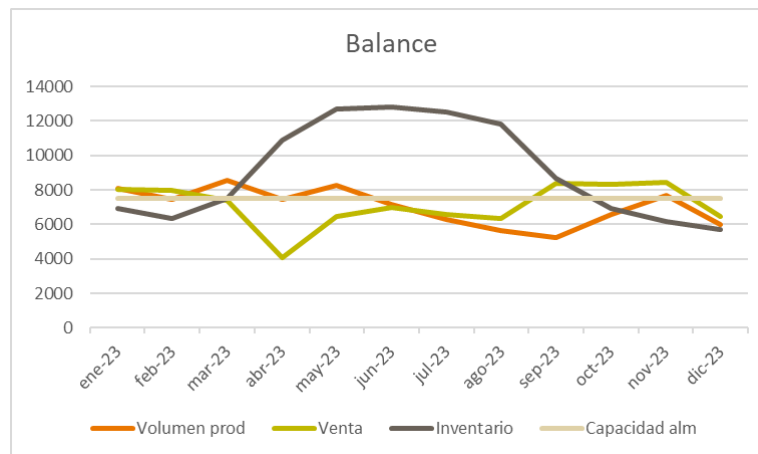
3.1. Diagnóstico

Como se mencionó anteriormente en el presente documento, la primera problemática a la que la empresa se enfrenta consiste en un exceso de inventario en un periodo de seis meses del año, ocasionado por una disminución en la demanda desde abril hasta septiembre. Mientras la planta de fabricación de los tableros tiene una capacidad de almacenaje de 7,500 metros cúbicos, durante los

meses consecutivos se llega a tener un inventario de hasta 12,831 m³, lo que representa un exceso de 5,331 m³.

De igual forma, se lidia con una escasez de inventario de cuchillas ocasionada por una falta de política de inventario, que amenaza con causar paros de producción y, en ocasiones, es motivo de un incremento imprevisto de más de \$9,000 dólares en costos logísticos.

Gráfica 2. Balance entre volumen de producción, ventas, inventario y capacidad de almacén de la planta.



Nota: datos propios.

La empresa debe buscar la mejor alternativa sobre qué hacer con ese exceso de producto durante los meses afectados, que les permita gastar la menor cantidad posible de dinero; de esa forma, se logrará obtener la mayor rentabilidad posible. También, se debe definir el nivel de inventario, tamaño de la orden y punto de reorden de las cuchillas para así lograr establecer una política de inventario, con el objetivo de tener un mayor control y evitar generar costos logísticos innecesarios.

3.2. Justificación de la estrategia de intervención

“La planeación agregada es un proceso mediante el cual una compañía determina los niveles ideales de capacidad, producción, subcontratación, inventario, faltantes e incluso precios, durante un horizonte de tiempo específico” (Chopra y Meindl, 2013).

Con esa definición se entiende que la planeación agregada se adapta al objetivo del proyecto pues actualmente la empresa no cuenta con una herramienta similar, que le permita contemplar al mismo tiempo los elementos que influyen en la toma de decisiones respecto al exceso de inventario de tableros; determinar el nivel de capacidad, producción e inventario, es lo que evitará que la empresa incurra en gastos extraordinarios.

Mediante la definición de una política de inventario, se determinará lo siguiente:

- Tamaño de la orden de cuchillas adecuado que no perjudique los costos de mantener el inventario
- Punto de reorden definido para colocar un nuevo pedido al proveedor, que contemple el inventario restante y el tiempo de entrega
- Nivel del inventario de seguridad contemplando las variaciones en la producción, definida por la demanda de los tableros

Los costos logísticos en los que se incurre por la adquisición de las cuchillas están vinculados a la falta de política de inventarios; con ella, se pretende adquirir un mejor control de su inventario y de sus tiempos, logrando así disminuir considerablemente los montos de dichos costos.

3.3. Herramientas e instrumentos

Las herramientas que serán utilizadas durante el proyecto son las siguientes:

- Modelo de planeación agregada y Sales and Op.
- Solver (herramienta de Microsoft Excel)
- Modelo de manejo de inventario de revisión continua con multiperiodos

3.4. Plan de trabajo

3.4.1. Cronograma

Actividad	ene-22	feb-22	mar-22	abr-22	may-22	jun-22	jul-22	ago-22	sep-22	oct-22	nov-22	dic-22
Definición del proyecto												
Recopilar información de modelo S&Op												
Creación de modelo S&Op												
Ajustes necesarios												
Recopilar información cuchillas												
Definición de modelo de inventario												
Revisión y ajustes de modelo												
Presentación												
Medición												

3.5. Intervención

3.5.1. Modelo de planeación agregada

Según las conclusiones obtenidas con la información de la Tabla 1, respecto al volumen de exceso de inventario, se proponen tres alternativas para su manejo que, a la vez, serán analizadas con el objetivo de descubrir cuál de ellas será la más beneficiosa para la empresa en términos de maximizar la utilidad:

1. Disminuir el nivel de producción en meses de baja venta
2. Mantener el nivel de producción durante los meses de baja venta y contratar almacenaje externo para el inventario excedente
3. Continuar con el nivel de producción durante los meses de baja venta y acelerar la venta ofreciendo descuentos sobre el precio de venta

Es importante resaltar que la empresa deberá tomar una decisión sobre cuál de los escenarios anteriormente planteados será aplicado a su plan de producción para el año 2023. En resumidas cuentas, se deberá elegir entre producir menos volumen de tableros, aumentar los costos totales o reducir el margen de utilidad por un periodo de tiempo. La decisión del negocio afectará directamente los niveles de costos e ingresos de ese año, por ende, impactando en la utilidad final del periodo. El propósito del modelo de planeación es proveer a la dirección con datos para facilitar la toma de decisiones.

Para la construcción del modelo de planeación agregada utilizando Microsoft Excel, se plasmó la información de la Tabla 1 en una hoja de Excel; posteriormente, se le añadió la información complementaria que se requería para el análisis de los 3 escenarios. El resultado se muestra en la Tabla 2 presentada a continuación.

Tabla 2. Modelo de planeación agregada general para los 3 escenarios.

	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23	ene-24
Capacidad de producción		8,501.40	7,771.20	8,967.00	7,771.20	8,668.20	7,501.20	6,552.60	5,897.40	5,460.60	6,897.60	8,047.20	6,300.00	8,501.40
Producción		8,120.54	7,423.05	8,565.28	7,423.05	8,279.86	7,165.15	6,259.04	5,633.20	5,215.97	6,588.59	7,686.69	6,017.76	8,120.54
Producto terminado		14,959.16	14,359.79	14,922.19	14,953.20	19,163.54	19,838.60	19,089.70	18,128.65	17,028.92	15,235.79	14,588.03	12,181.71	13,813.35
Ventas		8,022.42	8,002.88	7,392.04	4,069.53	6,490.09	7,007.94	6,594.25	6,315.69	8,381.72	8,334.45	8,424.08	6,488.89	8,022.42
Inventario	6838.62	6,936.74	6,356.92	7,530.15	10,883.68	12,673.45	12,830.66	12,495.45	11,812.96	8,647.21	6,901.35	6,163.95	5,692.81	5,790.93
Capacidad almacenamiento planta		7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00
Almacenamiento externo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo almacenaje externo x m3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Precio de venta	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00
Ingresos por ventas	\$ 1,684,707.70	\$ 1,680,604.11	\$ 1,552,329.02	\$ 854,600.30	\$ 1,362,918.25	\$ 1,471,667.99	\$ 1,384,792.54	\$ 1,326,294.50	\$ 1,760,160.68	\$ 1,750,234.26	\$ 1,769,057.26	\$ 1,362,667.92		
Costo producción	\$ 150.00	\$ 1,218,081	\$ 1,113,458	\$ 1,284,792	\$ 1,113,458	\$ 1,241,980	\$ 1,074,772	\$ 938,857	\$ 844,979	\$ 782,395	\$ 988,288	\$ 1,153,003	\$ 902,664	
M3 x flete	38.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flete planta-bodega externa	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos totales		\$ 1,218,081	\$ 1,113,458	\$ 1,284,792	\$ 1,113,458	\$ 1,241,980	\$ 1,074,772	\$ 938,857	\$ 844,979	\$ 782,395	\$ 988,288	\$ 1,153,003	\$ 902,664	
Utilidad		\$ 466,627.10	\$ 567,146.57	\$ 267,537.26	\$ -258,857.24	\$ 120,938.55	\$ 396,896.05	\$ 445,936.01	\$ 481,315.03	\$ 977,765.91	\$ 761,946.13	\$ 616,054.44	\$ 460,003.92	
														\$ 5,303,309.75 Utilidad 2023

Nota: datos propios.

Se crea un modelo general en el cual se puedan analizar los tres escenarios, ingresando o sustituyendo la información que cada uno necesite para su análisis y para obtener el resultado que se busca. Se agregan espacios debajo de la información original para ingresar los siguientes datos:

- Capacidad de almacenamiento de la planta productora
- Almacenamiento externo: volumen de material, en m^3 , que excede la capacidad de almacenamiento de la planta y que sería enviada a almacenarse a una bodega externa contratada
- Costo almacenaje externo: monto en USD por m^3 que se tendría que pagar a la bodega externa por el almacenaje de la mercancía
- Precio de venta en USD por m^3 de los tableros
- Ingresos por ventas: se multiplican los m^3 vendidos en el mes por el precio de venta para obtener los ingresos
- Costo de producción: el monto en USD que le cuesta a la empresa fabricar un m^3 de tableros
- M^3 x flete: cantidad de m^3 de material que se enviaría a ser almacenado en la bodega contratada. Se pueden cargar hasta $38.5m^3$ en una plataforma de transporte terrestre por lo que, en caso de exceder esa cantidad, se tendría que contratar otra plataforma adicional para enviar el resto
- Flete planta-bodega externa: monto en USD por plataforma que se le tiene que pagar a un tercero por el flete terrestre contratado para enviar el inventario excedente a la bodega externa

- Costos totales: suma de los costos considerados en el modelo (almacenaje, producción y flete terrestre)
- Utilidad: se restan los costos totales a los ingresos por ventas para obtener la utilidad de la operación, lo cual será el principal métrico para definir la mejor alternativa

3.5.1.1. Solver

Solver es un complemento de Microsoft Excel utilizado para resolver problemas numéricos con diversas variables, con el objetivo de calcular valor óptimo (máximo o mínimo) de una celda determinada, llamada celda objetivo y representada en color rojo, la cual está sujeta a restricciones de otras celdas; dichas restricciones, en color verde, se le indican al programa para que las tome en cuenta en el cálculo. Se le indican celdas de variables de decisión, de color azul, las cuales son utilizadas para calcular fórmulas en las celdas objetivo y de restricción. (Microsoft, s.f.)

3.5.1.2. Escenario 1: Disminuir el nivel de producción en meses de baja venta

En este primer escenario se planea disminuir el nivel de producción de tableros durante los meses de baja venta, con el objetivo de evitar el exceso de inventario al final de cada uno de ellos.

Utilizando Solver, se ingresan las siguientes reglas:

1. Se establece como objetivo maximizar la utilidad del año 2023
2. Se planea calcular el nivel de producción adecuado para lograr el objetivo del punto anterior, el cual consta de los niveles de producción de abril a diciembre del 2023. Aunque el periodo de tiempo que causa la problemática es del mes de abril a septiembre, se extiende el rango a modificar hasta diciembre con el objetivo de incrementar, de ser

necesario, los niveles de producción de los meses siguientes para lograr cumplir con la demanda de los tableros y tener al final un inventario preparado para el inicio del siguiente año.

3. Las restricciones para este escenario fueron las siguientes:

3.1. El nivel de producción debe ser menor o igual a la capacidad de producción, puesto que no es posible producir más metros cúbicos de tableros que lo que factores como maquinaria, mano de obra y tiempo, permiten.

3.2. El inventario de tableros al final de cada mes debe ser menor o igual a 7500, lo cual es la capacidad de almacenaje de la planta.

$$\text{Inventario a final del mes} \leq 7,500 \text{ m}^3$$

3.3. El inventario final de cada mes debe ser mayor a 3000, esto con el objetivo de obligar al programa a que obtenga por lo menos esa cantidad indicada, ya que será necesaria para las ventas del mes siguiente

$$\text{Inventario final del mes} \geq 3,000 \text{ m}^3$$

Los resultados del primer escenario se aprecian en la Tabla 3:

- El nivel de producción óptimo debe disminuir drásticamente durante los primeros 2 meses para igualar la demanda y evitar el exceso de inventario de tableros
- Posteriormente, se debe incrementar el nivel de producción al máximo con el objetivo de evitar la pérdida de ventas por falta de producto.
- Utilidad de \$5'839,784.03 USD
- No se obtiene el nivel de inventario deseado en los últimos periodos del año
- Inventario al final del año mucho menor que el inicial

Tabla 3. Resultados de escenario 1 obtenidos con Solver.

	ESCENARIO DISMINUCIÓN DE PRODUCCIÓN													
	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23	ene-24
Capacidad de producción		8,501.40	7,771.20	8,967.00	7,771.20	8,668.20	7,501.20	6,552.60	5,897.40	5,460.60	6,897.60	8,047.20	6,300.00	8,501.40
Producción		8,120.54	7,423.05	8,565.28	4,039.37	6,490.09	7,007.94	6,552.60	5,897.40	5,460.60	6,897.60	8,047.20	6,300.00	8,120.54
Producto terminado		14,959.16	14,359.79	14,922.19	11,569.53	13,990.09	14,507.94	14,052.60	13,355.75	12,500.66	11,016.54	10,729.30	8,605.21	10,236.86
Ventas		8,022.42	8,002.88	7,392.04	4,069.53	6,490.09	7,007.94	6,594.25	6,315.69	8,381.72	8,334.45	8,424.08	6,488.89	8,022.42
Inventario	6838.62	6,936.74	6,356.92	7,530.15	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,458.35	7,040.06	4,118.94	2,682.10	2,305.21	2,116.32	2,214.44
Capacidad almacenamiento planta		7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00
Almacenamiento externo		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Costo almacenaje externo x m3	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Precio de venta	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00
Ingresos por ventas		\$ 1,684,707.70	\$ 1,680,604.11	\$ 1,552,329.02	\$ 854,600.30	\$ 1,362,918.25	\$ 1,471,667.99	\$ 1,384,792.54	\$ 1,326,294.50	\$ 1,760,160.68	\$ 1,750,234.26	\$ 1,769,057.26	\$ 1,362,667.92	\$ 1,362,667.92
Costo producción	\$ 150.00	\$ 1,218,081	\$ 1,113,458	\$ 1,284,792	\$ 605,906	\$ 973,513	\$ 1,051,191	\$ 982,890	\$ 884,610	\$ 819,090	\$ 1,034,640	\$ 1,207,080	\$ 945,000	\$ 945,000
M3 x flete	38.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Flete planta-bodega externa	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Costos totales		\$ 1,218,081	\$ 1,113,458	\$ 1,284,792	\$ 605,906	\$ 973,513	\$ 1,051,191	\$ 982,890	\$ 884,610	\$ 819,090	\$ 1,034,640	\$ 1,207,080	\$ 945,000	\$ 945,000
Utilidad		\$ 466,627.10	\$ 567,146.57	\$ 267,537.26	\$ 248,694.15	\$ 389,405.21	\$ 420,476.57	\$ 401,902.54	\$ 441,684.50	\$ 941,070.68	\$ 715,594.26	\$ 561,977.26	\$ 417,667.92	\$ 417,667.92
														\$ 5,839,784.03 Utilidad 2023

Nota: datos propios.

3.5.1.3. Escenario 2: Mantener el nivel de producción durante los meses de baja venta y contratar almacenaje externo para el inventario excedente

En el escenario 2 se planea hacer uso de los servicios de un tercero, mediante la contratación de una bodega externa. El objetivo es tener un lugar físico a donde se pueda enviar a resguardar el excedente de inventario de tableros en los meses de baja demanda, manteniendo un nivel de producción elevado. Una vez terminado dicho periodo, se recuperará el inventario de la bodega externa para continuar con la operación habitual. Para esta decisión, tomemos en cuenta el costo por resguardar la mercancía de \$4 USD mensuales por m³, así como el costo de transportar la mercancía a la bodega externa de \$87 USD por plataforma.

A continuación, se explican los resultados obtenidos, simulando el envío del exceso de inventario a una bodega externa contratada.

Tabla 4. Resultados de escenario 2.

	ESCENARIO CONTRATACIÓN DE ALMACENAMIENTO EXTERNO													Total 2023
	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23	jul-23	ago-23	sep-23	oct-23	nov-23	dic-23		
Capacidad de producción	8,501.40	7,771.20	8,967.00	7,771.20	8,668.20	7,501.20	6,552.60	5,897.40	5,460.60	6,897.60	8,047.20	6,300.00		
Producción	8,120.54	7,423.05	8,565.28	7,423.05	8,279.86	7,165.15	6,259.54	5,633.20	5,215.97	6,588.59	7,686.69	6,017.76		
Producto terminado	14,959.16	14,359.79	14,922.19	14,953.20	19,163.54	19,838.60	19,089.70	18,128.65	17,028.92	15,235.79	14,588.03	12,181.71		
Ventas	8,022.42	8,002.88	7,392.04	4,069.53	6,490.09	7,007.94	6,594.25	6,315.69	8,381.72	8,334.45	8,424.08	6,488.89		
Inventario	6838.62	6,936.74	6,356.92	7,530.15	10,883.68	12,673.45	12,830.66	12,495.45	11,812.96	8,647.21	6,901.35	6,163.95	5,692.81	
Capacidad almacenamiento planta	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	7,500.00	
Almacenamiento externo M3	-	-	-	3,383.68	5,173.45	5,330.66	4,995.45	4,312.96	1,147.21	-	-	-	24,343.40	
Costo almacenaje externo x m3	\$ 4.20			\$ 14,211.44	\$ 21,728.51	\$ 22,388.76	\$ 20,980.89	\$ 18,114.43	\$ 4,818.27				\$ 102,242.29	
Precio de venta	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	\$ 210.00	
Ingresos por ventas	\$ 1,684,707.70	\$ 1,680,604.11	\$ 1,552,329.02	\$ 854,600.30	\$ 1,362,918.25	\$ 1,471,667.99	\$ 1,384,792.54	\$ 1,326,294.50	\$ 1,760,160.68	\$ 1,750,234.26	\$ 1,769,057.26	\$ 1,362,667.92	\$ 17,960,034.52	
Costo producción	\$ 150.00	\$ 1,218,081	\$ 1,113,458	\$ 1,284,792	\$ 1,113,458	\$ 1,241,980	\$ 1,074,772	\$ 938,857	\$ 844,979	\$ 782,395	\$ 988,288	\$ 1,153,003	\$ 902,664	\$ 12,656,724.77
M3 x flete / plataformas necesarias	43.4	-	-	-	78	119	123	115	99	26	-	-	-	561
Flete planta-bodega externa	\$ 87	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 6,783	\$ 10,371	\$ 10,686	\$ 10,014	\$ 8,646	\$ 2,300	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 48,799
Costos totales		\$ 1,218,081	\$ 1,113,458	\$ 1,284,792	\$ 1,134,530	\$ 1,274,198	\$ 1,107,969	\$ 969,966	\$ 871,839	\$ 789,539	\$ 988,288	\$ 1,153,003	\$ 902,664	\$ 12,808,327
Utilidad		\$ 466,627.10	\$ 567,146.57	\$ 267,537.26	\$ -279,929.59	\$ 88,720.09	\$ 363,698.59	\$ 414,826.09	\$ 454,455.43	\$ 970,621.51	\$ 761,946.13	\$ 616,054.44	\$ 460,003.92	\$ 5,151,707.56
														\$ 5,151,707.56 Utilidad 2023

Nota: datos propios.

- Costo total anual de almacenaje de \$102,242.29 USD
- Nivel de ingresos por ventas se mantiene
- Costo total anual de producción de \$12'656,724.77 USD, 4% mayor que el análisis anterior
- Costo anual de transporte de \$48,799 USD
- Costos totales de \$12'808,327 USD, 5.6% mayor que el análisis anterior

El costo operacional anual con esta alternativa es de \$12'808,327 USD, un 5.67% mayor que en el escenario anterior y la utilidad anual es de \$5'151,707.56 USD, la cual representa un 11.78% menor.

3.5.1.4. Escenario 3: Continuar con el nivel de producción durante los meses de baja venta y acelerar la venta ofreciendo descuentos sobre el precio de venta

En este último escenario se tiene como objetivo continuar con la producción según el plan inicial y buscar eliminar el exceso de inventario de tableros mediante una campaña de descuentos en el precio de venta, buscando incrementar las ventas en esos meses perjudiciales. De esa forma se planea evitar caer en costos operacionales adicionales por el manejo del inventario; sin embargo, los descuentos sobre las ventas implican un margen de utilidad menor.

Para determinar correctamente los porcentajes de descuento que se deben ofrecer, con el objetivo de incrementar la demanda de los tableros a un nivel con el que se mitigue la situación del exceso de inventario, es necesario conocer la elasticidad de la demanda del producto. La elasticidad de la demanda es qué tan sensible, es decir, qué tanto cambia la demanda de un producto determinado conforme a los cambios en su precio. Para calcular la elasticidad se utiliza la fórmula de la elasticidad de la demanda (Dale, C., 2011).

$$e = \Delta Q / Q \div \Delta P / P = (Q_{new} - Q_{old}) \div \Delta P\%$$

Q_{new}: cantidad demandada con el precio con descuento

Q_{old}: cantidad demandada con precio habitual

ΔP%: precio con descuento ÷ precio habitual

Dado que la empresa ya había ofrecido descuentos en el precio de venta en periodos anteriores, determinaron el valor de la elasticidad de la demanda de los tableros de aglomerado con un valor de 10. Esto quiere decir que este producto tiene una sensibilidad alta ante la demanda. En otras palabras, si se tiene una elasticidad con valor de 10 y el precio disminuye un 8.4% en el mes de abril 2023, entonces la demanda aumentaría un 84%. Utilizando la fórmula, se representa de la siguiente forma:

$$\text{Demanda} = 4,069.53 \times (1 + 10 \times (0.84)) = 7,487.93$$

3.5.2. Modelo de manejo de inventarios de revisión continua con multiperiodos

Tras analizar los costos logísticos de los pedidos realizados al proveedor alemán en el año 2021 y la primera mitad del año 2022, ilustrados en la Gráfica 2, se identifican incrementos no planeados entre ellos. Estos *picos* en los costos logísticos son ocasionados por una falta de control en el inventario de las cuchillas utilizadas para la fabricación de los tableros, obligando a la empresa a contratar transporte aéreo para llevar los materiales a la planta productiva, con el objetivo de evitar un paro de producción por la escasez de los insumos para continuar con la producción.

Para mitigar el riesgo de un paro de producción, se propone implementar un modelo de manejo de inventario que se adecue a la demanda de tableros o, en este caso, a la demanda de las cuchillas para la producción de estos.

En el caso de las cuchillas para las refacciones, se toma como demanda el nivel de producción esperado de cada mes ya que de ello dependerá el número de cuchillas utilizadas en cada periodo. El nivel de producción varía mes con mes, hay posibilidad de reabastecerse mediante los pedidos a proveedor de las piezas e, idealmente, el inventario debe revisarse continuamente. Con estas características se define el modelo de inventario necesario para este producto: modelo de revisión de inventario continua con multiperiodos.

Para iniciar con la construcción del modelo, es necesario definir el tamaño de la orden para obtener un costo mínimo (EOQ por sus siglas en inglés) utilizando la siguiente fórmula:

$$Q^* = \sqrt{(2 C_t D / C_e)}$$

- Q^* : tamaño de la orden, cantidad de piezas
- D : demanda promedio (μ)
- C_t : costo de transacción o de reabastecerse
- C_e : costo de mantener inventario

La cantidad de cuchillas necesaria es proporcional al volumen de producción en m^3 de tableros esperado en el mes; por ende, es necesario utilizar un factor que nos permita calcular el número de cuchillas que se utilizarán en una corrida de producción. Para ello, se utilizan datos históricos de producción de tableros desde mediados del año 2020 hasta mediados del 2022 y se calcula el promedio de m^3 fabricados en cada uno de los meses. El promedio, representado por μ , de m^3 de tableros fabricados al mes en ese periodo es de $6,866 m^3$. Posteriormente, se requiere calcular la desviación estándar de la producción de los mismos periodos, la cual es una medida para indicar qué tan dispersos están los datos con relación al promedio y es representada por σ (National Library of Medicine, s.f.). La desviación estándar puede calcularse en Microsoft Excel con la fórmula: =DESVESTA()

Utilizando información proporcionada por personal del área de producción de la empresa, se toma un promedio de 30 cuchillas utilizadas al mes en 2021. El factor de m^3 por cuchilla es calculado dividiendo el promedio mensual de m^3 fabricados entre el promedio de cuchillas utilizadas al mes, con valor de 30. El resultado es de $229 m^3$ por cuchilla y puede ahora ser utilizado para calcular la cantidad real de cuchillas utilizadas por mes según el nivel de producción, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 6. Cálculo de promedio mensual de producción de m³, desviación estándar de producción de m³, factor de conversión de m³ por cuchilla, promedio mensual de cuchillas utilizadas, desviación estándar mensual de cuchillas y conversión de datos mensuales a anuales.

Periodo	Volumen prod	Cuchillas	M3	
ago-20	4952	19	μ =	6866
sep-20	5407	21	σ =	1091
oct-20	6044	23	Factor=	229 m3 x cuchilla
nov-20	7432	29		
dic-20	5257	20		
ene-21	7267	28	Cuchillas	
feb-21	6844	26	μ =	26 mensual
mar-21	7813	30	σ =	4 mensual
abr-21	7223	28	n=	12 n meses por año
may-21	8412	32	μ =	317 anual
jun-21	6915	27	σ =	14.53 anual
jul-21	6170	24		
ago-21	5692	22		
sep-21	5216	20		
oct-21	6589	25		
nov-21	7687	30		
dic-21	6018	23		
ene-22	8121	31		
feb-22	7423	29		
mar-22	8565	33		
abr-22	7423	29		
may-22	8280	32		
jun-22	7165	28		

Nota: datos propios

Con el objetivo de tener todos los elementos para la fórmula de EOQ en el mismo periodo de tiempo, se deben convertir de datos mensuales a datos anuales. Para ello, se calcula el promedio mensual de cuchillas utilizadas en los meses señalados, al igual que la desviación estándar mensual; posteriormente, ambos datos se multiplican por el número de veces, **n**, que el periodo de tiempo en el que se encuentran los datos, cabe en un año. En este caso, **n** equivale a 12, puesto que los datos son mensuales y hay 12 meses en un año. Para obtener la demanda promedio anual, se multiplica **μ** mensual por **n**, resultando en 317 cuchillas al año, en promedio. La desviación estándar anual se obtiene multiplicando **σ** mensual por la raíz cuadrada de **n**, obteniendo un resultado de 14.53 anual. Estos cálculos se pueden apreciar en la Tabla 6.

El costo de transacción (C_t) se refiere al monto que se debe de pagar para ordenar, recibir y procesar un pedido (Rossi, 2021). Para este proyecto, el costo está compuesto por el monto pagado por el flete internacional, utilizando el transporte marítimo como referencia por su bajo costo; aunado, se suman los gastos por la importación de las cuchillas al país. Debido a los cambiantes costos en el transporte marítimo recientemente, únicamente se utilizarán los datos de los montos del 2022. El costo de transacción promedio del 2022 es de \$1,785.41 USD.

El tercer y último dato requerido para completar los elementos de la fórmula del EOQ es el costo de mantenimiento (C_e). Este se calcula multiplicando el costo de mantener el inventario (h) por el valor promedio del inventario (c). El costo de mantener inventario (h) es el monto que la empresa debe pagar para mantener y almacenar mercancía; generalmente representa de 20% a 30% del valor del inventario (Aviso, 2022). Para efectos de este proyecto, se utilizará un costo de mantenimiento (h) del 25% y un valor promedio de una cuchilla (c) de \$53.73 USD.

Se plasman los datos de la fórmula en una hoja de Microsoft Excel y se calcula Q^* de la siguiente forma:

Tabla 7. Fórmula de EOQ utilizando datos de la empresa.

$\mu =$	317	anual
$\sigma =$	14.53	anual
$c =$	53.73	USD
$h =$	0.25	
$c * h =$	13.43	
$C_t =$	\$1,785.41	
$Q^* =$	290	$Q^* = \sqrt{2 C_t D / C_e}$

Nota: datos propios.

Se obtiene como resultado un tamaño de la orden (Q^*) de 290 cuchillas por pedido, como se muestra en la Tabla 7. Una vez que se cuenta con el tamaño del pedido, lo siguiente será definir el punto de reorden (s), es decir, el nivel de inventario establecido que indicará cuando es momento de hacer un nuevo pedido al proveedor.

La fórmula para el cálculo del punto de reorden (s) es la siguiente:

$$s = \mu DL + k\sigma DL$$

Para utilizarla, se requieren los siguientes datos:

Lt: tiempo de entrega (*lead time* en inglés) del proveedor, desde que se hace el pedido hasta que se recibe el material

Nivel de servicio: porcentaje de la demanda que se desea satisfacer

n: cantidad de Lt en un año

μDL : Demanda durante el tiempo de entrega o *lead time* (Lt) del proveedor, nivel de inventario necesario para protegerse durante el Lt

σDL : Desviación estándar durante Lt, nivel de inventario necesario para protegerse de la desviación estándar de la demanda

k: Número de desviaciones estándar que se necesitan para cubrir Lt y cumplir con el nivel de servicio

La información de la empresa recabada para sustituir los componentes de la fórmula es la siguiente:

Lt: 2 meses

Nivel de servicio (LS): Para la finalidad del proyecto y, con el objetivo de evitar desabasto de refacciones, resultando finalmente en un paro de producción, se utilizará un nivel de servicio del 99.99%

n: 6 = meses por año

$$\mu\mathbf{DL} = D \div n = 317 \div 6 = 53$$

$$\sigma\mathbf{DL} = \sigma \div \sqrt{n} = 14.53 \div \sqrt{6} = 6$$

k se calcula utilizando la fórmula de Excel = DISTR.NORM.ESTAND.INV(LS) = 3.72

$$\mathbf{s} = \mu\mathbf{DL} + \mathbf{k}\sigma\mathbf{DL} = 53 + (3.72 \times 6) = 75$$

El punto de reorden será cuando el inventario de cuchillas llegue a un nivel de 75 piezas en inventario. En ese momento se deberá hacer un nuevo pedido al proveedor por 290 piezas, la cual es la cantidad determinada por la fórmula de Q*.

Para finalizar, se requiere calcular el inventario de seguridad de cuchillas que se mantendrá para asegurarse de estar protegidos contra la desviación estándar durante el tiempo de entrega (Lt) de dos meses del proveedor alemán, por medio de transporte marítimo. Para ello, se multiplica la desviación estándar durante Lt ($\sigma\mathbf{DL}$) por **k**.

$$\mathbf{Stock\ de\ seguridad} = \mathbf{ss} = \sigma\mathbf{DL} \times \mathbf{k} = 6 \times 3.72 = 22$$

Con los tres elementos de la política de inventario definidos, se enuncia de la siguiente manera:

Política de inventario de cuchillas: se hace un pedido por 290 cuchillas cuando el nivel de inventario llegue a 75 piezas, considerando un tiempo de entrega del proveedor de 2 meses y conservando un inventario de seguridad de 22 piezas.

El modelo de manejo de inventario de cuchillas en Microsoft Excel resulta según lo demostrado a continuación en la Tabla 8.

Tabla 8. Modelo de manejo de inventario de cuchillas de revisión continua con multiperiodos.

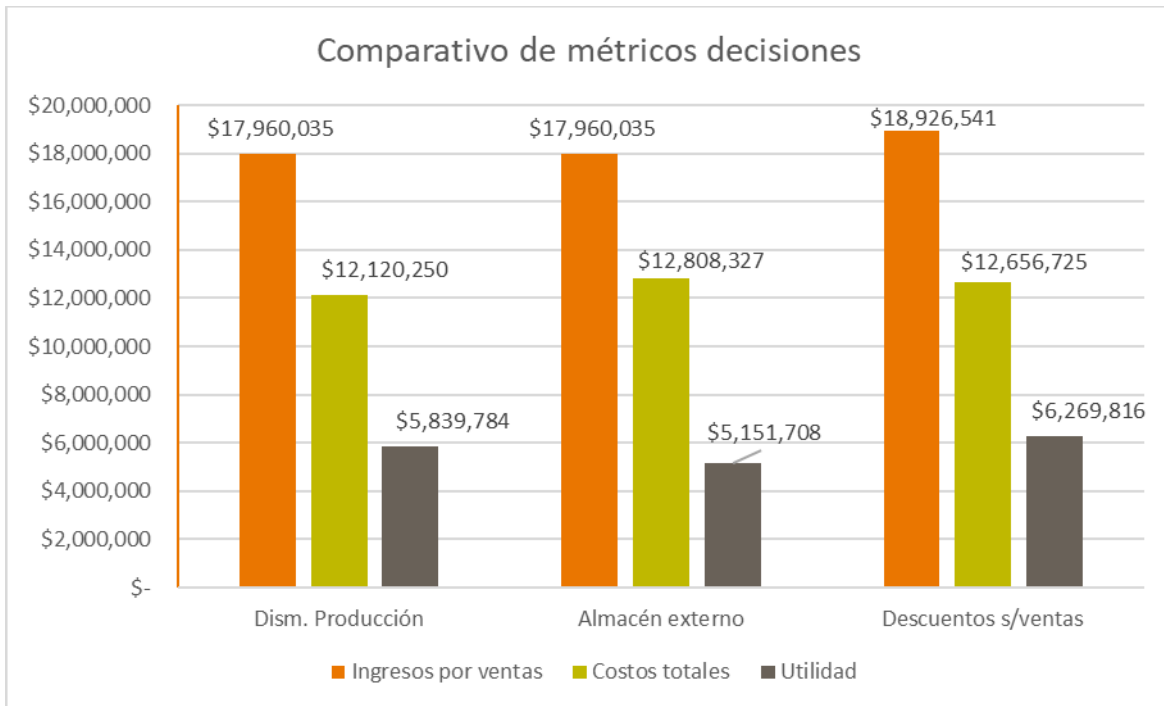
Encontrar política de Q		
$\mu =$	317	anual
$\sigma =$	14.53	anual
$c =$	53.73	USD
$h =$	0.25	
$C_e = c \cdot h =$	13.43	
$C_t =$	\$1,785.41	
Q* =	290	$Q^* = \sqrt{2 C_t D / C_e}$
Lt = Tiempo de entrega	2	meses
Meses en un año	12	
Nivel de servicio =	99.99%	
Encontrar política de s		
n = Lt en un año	6.0	= months per year / lead time
Convertir periodo largo a corto		
$\mu_{DL} =$ demanda en Lt =	53	$E[D_s] = E[D_L]/n$
$\sigma_{DL} = \sigma$ en Lt =	6	$\sigma_s = \sigma_L/\sqrt{n}$
k para nivel de servicio	3.72	DISTR.NORM.ESTAND.INV(CLS)
$s = \mu_{DL} + k\sigma_{DL} =$	75	
ss= stock de seguridad	22	

Nota: datos propios.

4. Exposición de hallazgos

La implementación del modelo de planeación agregada permitió obtener nuevos métricos que pueden ser analizados y comparados entre ellos, y que serán de apoyo para tomar una decisión basada en datos.

Gráfica 3. Comparativo de métricos obtenidos de cada uno de los escenarios.



Nota: datos propios.

Después de analizar la gráfica anterior, nos podemos percatar de que el tercer escenario, ofrecer descuentos sobre el precio de ventas, es la alternativa que ofrece una mayor utilidad incrementándola a \$6'269,816 USD. Con los descuentos ofrecidos a los clientes, el margen de utilidad que cada m³ de tableros proporciona es disminuido; sin embargo, debido a que las ventas, y con ellas los ingresos, se incrementan, con este escenario se obtienen \$430,032 USD más que el escenario de disminución del nivel de producción. De igual forma, como analizado en la Tabla 5, permite mantener el nivel de inventario de producto terminado en un nivel inferior a los 7,500 m³ que se plantearon como meta.

Con la disminución del nivel de producción se reducen los costos totales de la empresa al finalizar el año a \$12'120,250, un 4.23% menor que en el escenario de descuentos sobre las ventas; de igual forma, se elimina el exceso de inventario en los meses de baja demanda. Sin embargo, se presentan desventajas con esta alternativa: se obtiene una utilidad

de un 6.85% menor al escenario anteriormente mencionado y, como demostrado en la Tabla 3, el inventario de producto terminado al finalizar el año es considerablemente menor que el inventario con el cual se iniciaron operaciones en el año 2022. En la Gráfica 2 se aprecia que la demanda al inicio del año es elevada, por lo que se presenta la probabilidad de no tener el inventario suficiente para satisfacerla.

El escenario de contratación de almacenaje externo ofrece la menor utilidad entre las tres alternativas de \$5'151,708 USD, debido a que los costos totales aumentan a \$12'808,327 USD. Los ingresos por ventas se mantienen un 5.1% menor que el escenario de descuentos sobre la venta, mientras que los costos totales son 1.19% mayores, perjudicando así el margen de utilidad.

En otros ámbitos, el modelo de manejo de inventario de cuchillas resulta en una política que dicta el reabastecimiento dos veces al año y que, siguiéndola, generará un gasto logístico de \$3,570.83 USD en todo el año, lo cual representa cerca de un 90% de decremento. El ordenar la cantidad adecuada y mantener un inventario de seguridad suficiente para estar protegidos, evitará caer en gastos extras por verse obligados a contratar transporte aéreo.

Conclusiones

A través del uso de modelos de planeación agregada y de manejo de inventario, se logran obtener buenos resultados teóricos para ayudar a la empresa Tableros de Aglomerado de México S.A. de C.V. a definir la mejor alternativa sobre qué hacer con el exceso de inventario de tableros en su planta productora, al igual que a mejorar sus costos logísticos por una falta de política de inventario de las cuchillas para la fabricación de los mismos tableros.

El modelo de planeación agregada permite hacer un análisis que toman en cuenta diversas variables que se tienen, considero que es una gran herramienta para emplearse en escenarios complejos.

La política de inventario definida permite tomar decisiones basada en datos, las cuales siempre serán mejor que las decisiones basadas en estimaciones.

Mientras se trabajaba para crear ambos modelos me percaté de que, en las cadenas de suministro de las empresas, sobre todo empresas grandes, siempre hay algo que podrá mejorarse u optimizarse. Con el paso del tiempo, aspectos como la demanda y el costo van cambiando y considero sumamente importante revisar paulatinamente el diseño de su cadena para hacer los ajustes necesarios.

Se tuvo la fortuna de recibir el apoyo de líderes abiertos al cambio y dispuestos a escuchar propuestas de mejora en los procesos y compartir información, algo que, a mi parecer, no es común en empresas del tamaño como esta.

Referencias y bibliografías

Anand Jayakumar A., Krishnaraj C. y S. R. Kasthuri Raj (2016). *LINGO based revenue maximization using aggregate planning*. ARP Journal of Engineering and Applied Sciences, 11(9), 6075-6081. https://www.researchgate.net/profile/Anand-Jayakumar-Arumugham-2/publication/303788814_LINGO_based_revenue_maximization_using_aggregate_planning/links/5753fd7308ae10d9337670f7/LINGO-based-revenue-maximization-using-aggregate-planning.pdf

Aviso, A. (1 de julio de 2022). *Inventory Carrying Cost: Calculator, Formula and Reduction Tips*. Fit Small Business. <https://fitsmallbusiness.com/inventory-carrying-cost/>

Chopra, S. y Meindl, Peter. (2013). *Administración de la cadena de suministro*. Pearson Education, Inc.

Dale, C. (2011). *Everything You Need to Know About the Mathematics of Economic Decision Making*. BrainMass Inc.

John Gattorna. (2016). *Gower Handbook of Supply Chain Management: Vol. 5th edition*. Routledge.

Martínez, R. (2021). *Operations Management, Sourcing and Production Control. Inventory Management*. [Diapositiva de PowerPoint]

Martínez, R. (2021). *Planning, Production Scheduling, and Control. Sales and Operations*. [Diapositiva de PowerPoint]

Microsoft (s.f.) *Definir y resolver un problema con Solver*. <https://support.microsoft.com/es-es/office/definir-y-resolver-un-problema-con-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040#:~:text=Solver%20ajusta%20los%20valores%20de,una%20celda%20cambiando%20otras%20celdas.>

Muller, M. (2003). *Essentials of Inventory Management*. AMACOM.

National Library of Medicine (s.f.) *Finding and Using Health Statistics. Standard Deviation*.
https://www.nlm.nih.gov/nichsr/stats_tutorial/section2/mod8_sd.html

Roberto Rossi. (2021). *Inventory Analytics*. Open Book Publishers.