



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL**



**SISTEMA DE PLANIFICACIÓN DE ÓRDENES DE PRODUCCIÓN PARA  
CICLA 3D**

**POR**

**NICOLÁS IGNACIO PAVEZ SOTO**

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción para  
optar al título profesional de Ingeniero Civil Industrial.

Profesor Guía  
Eduardo Salazar Hornig

Agosto 2022  
Concepción, Chile  
© 2022 Nicolás Ignacio Pavez Soto

© 2022 Nicolás Ignacio Pavez Soto

Ninguna parte de esta tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso por escrito del autor.

## **Agradecimientos**

Este informe y todo el proceso universitario consistió de un trabajo duro, en el cual recibí mucho apoyo, por lo que quisiera dedicarle una hoja especial a todos aquellos que siempre estuvieron y quienes por alguna u otra razón no pudieron estar.

A los 9 años de haber nacido mi vida dio un giro, mi madre falleció e inició un proceso totalmente distinto para mí y mi familia. Mis tías, hermanas de mi madre, desde aquel día han sabido cumplir con el rol de padre y madre a la vez conmigo. Para ellas en especial va esta memoria de título y todos los logros que obtuve durante mi vida escolar y universitaria.

Si bien siempre han dicho que lo que hicieron les nació desde el corazón, esta es una pequeña forma de agradecer todo lo hecho y enseñado. Sin duda me siento preparado para el futuro tanto por mis valores como por las aptitudes académicas adquiridas durante todo este tiempo, donde sin su apoyo y preocupación constante, nada de esto hubiese sido posible.

Agradecer a mi hermano, quien siempre me ha guiado a través de sus vivencias y ha sido un ejemplo constante para mí. Me ha abierto sus brazos siempre que lo he necesitado, me ha entregado palabras de aliento y consejos que nadie más como él me puede dar. Esto que está pasando ahora también es un logro tuyo.

No puedo no mencionar también a familias amigas, que más que amigas se han transformado también en mi familia, los Ramos Hellman y Vásquez Soto. Desde los 9 años de mi vida han sabido incluirme en todo momento, en donde mis valores, aptitudes y logros también son responsabilidad de ellos. Me encuentro eternamente agradecido y este párrafo es una forma de agradecer su presencia durante todos estos años.

Dedicarles también unas palabras a mis amigos, amigas y cercanos en general, quienes son la familia que uno escoge. Siempre me han brindado una palabra de aliento y un momento grato, haciéndome pensar que en verdad he estado haciendo bien, ya que considero que son gente bonita que siempre deja huella en el resto.

Por último, agradecer a mi madre que desde el cielo ha sabido mover montañas, logrando que toda la gente que mencioné más arriba haya aparecido, que siga manteniéndose a mi lado y demostrando todo su amor conmigo. Gracias por entregarme la confianza de pensar de que todo siempre va a resultar bien y que cuando uno quiere algo, lucha y lo puede lograr.

## Sumario

“Imprime en 3D hasta dónde tu imaginación llegue” y “si no lo tienes, lo puedes imprimir” son frases ícono dentro de Cicla 3D, empresa nacional radicada en Concepción y en el cual se centra este estudio.

Para comenzar se realiza una introducción con los antecedentes de la impresión 3D y los alcances que esta puede llegar a tener, identificando el impacto en diversas áreas como lo son salud y educación. En el mismo punto, se indican los avances de esta tecnología y los materiales más comunes que se ocupan para imprimir, donde se hace especial énfasis en el más popular que es el PLA (Ácido Poliláctico) y es con el que trabaja Cicla 3D actualmente. Se finaliza este capítulo con el amplio mercado que esta tecnología puede abarcar, en donde la organización en cuestión es la única en desarrollar este tipo de filamentos para la impresión en Chile, presentando, por último, los objetivos de este estudio los cuales entregan un valor agregado a la empresa al ser resueltos, ya que Cicla 3D no cuenta con un sistema de planificación de órdenes de producción y es lo que esta memoria de título plantea.

Luego, se desarrolla información de Cicla 3D y se informa sobre el proceso productivo y su producto final, reforzando aún más el propósito de este estudio y la necesidad de establecer un mecanismo claro sobre la producción de filamentos en la organización. Posterior a esto, se presenta la metodología a seguir, comenzando con una investigación de mercado y un pronóstico de demanda en base a datos históricos de la organización recopilados para este informe.

Se determina la capacidad productiva de la organización y se plantean tres escenarios, para así dar paso a un modelo de planificación de órdenes de producción, el que involucra una planificación agregada, maestra y plan de requerimiento de materiales para un horizonte de un año dado por el pronóstico de demanda del punto anterior.

Para finalizar, se realiza un modelo de programación lineal con variables y restricciones, las cuales fueron aplicadas y resultas en el Solver de Excel con el objetivo de minimizar los costos de producción de Cicla 3D en los distintos escenarios planteados, entregando así, resultados óptimos y que permiten a la organización poder anticiparse al futuro y saber el posible costo de implementación de sus planes en base a la demanda pronosticada.

## Summary

“Print in 3D as far as your imagination goes” and “if you don't have it, you can print it” are iconic phrases from Cicla 3D, a national company based in Concepcion and on which this study is focused.

To begin, an introduction is made with the background of 3D printing and the scope this subject can have, identifying the impact in various areas such as health and education. At the same headland, the advances of this technology and the most common materials used for printing are listed, where special emphasis is placed on the most popular, which is PLA (Polylactic Acid) and it is the one with which Cicla 3D currently works. This chapter ends with the wide market that this technology can cover, where the organization in question is the only one to develop this type of filaments for printing in Chile. Finally, the objectives of the study are presented. These ones will deliver added value to the company when solved, inasmuch as Cicla 3D does not have a production order planning system and this is what this title memory proposes.

Then, Cicla 3D information is treated. The production process and its final product are reported, reinforcing the main purpose of this study and the need to establish a clear mechanism on the production of filaments in the organization. After this, the methodology to be implemented is presented, beginning with market research, and followed by a demand forecast based on historical data of the organization compiled for this report.

To continue, a productive capacity of the organization is determined, and three different scenarios are proposed, to give way to a production order planning model, which involves an aggregate, master planning and material requirement plan for a horizon of one year given by the demand forecast of the previous point.

Finally, a linear programming model is made with variables and restrictions, which were applied and solved in the Excel Solver with the aim of minimizing the production costs of Cicla 3D in the different scenarios proposed, thus delivering optimal results that allow the organization to anticipate the future and know the possible cost of implementing its plans based on the forecast demand.

# Índice

Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Alcances de la impresión 3D.....	1
1.3. Impresoras y materiales de impresión.....	2
1.4. Objetivos del proyecto .....	5
Capítulo 2. Cicla 3D .....	6
2.1. Historia de la empresa.....	6
2.2. Proceso productivo y producto final .....	7
Capítulo 3. Sistema de Planificación de Producción para Cicla 3D. ....	11
3.1. Estudio de mercado.....	11
3.2. Capacidad de producción y escenarios productivos .....	12
3.3. Planificación de la Producción .....	13
3.4. Modelo de optimización para la planificación de Cicla 3D.....	14
Capítulo 4. Desarrollo del sistema de planificación de Cicla 3D .....	16
4.1. Estudio de mercado para los productos de Cicla 3D .....	16
4.2. Capacidad de producción y escenarios productivos .....	21
4.3. Modelo de planificación.....	25
4.3.1. Planificación agregada .....	25
4.3.2. Programación maestra de la producción .....	30
4.3.3. Planificación de requerimientos de materiales (MRP).....	36
4.4. Modelo de optimización para la programación maestra de Cicla 3D.....	41
4.4.1. Modelo de Optimización .....	41
4.4.2. Aplicación en EXCEL del modelo.....	44

Capítulo 5. Discusión ..... 46

Capítulo 6. Conclusiones ..... 49

Capítulo 7. Referencias..... 50

Capítulo 8. Anexo..... 51

Resumen FI ..... 71

## Lista de Tablas

Tabla 1.1 Importaciones anuales de filamentos para impresión 3d .....	4
Tabla 4.1 Proporción de ventas por color .....	17
Tabla 4.2 Colores a trabajar .....	17
Tabla 4.3 Historial de ventas por color.....	18
Tabla 4.6 Pronostico de demanda por mes .....	19
Tabla 4.7 Suma total de ventas históricas por color.....	20
Tabla 4.8 Proyección de demanda por color.....	20
Tabla 4.9 Tiempo de producción por RPM .....	21
Tabla 4.10 Capacidad productiva a 600 RPM .....	22
Tabla 4.11 Capacidad productiva a 650 RPM .....	22
Tabla 4.12 Capacidad productiva a 700 RPM .....	23
Tabla 4.13 Capacidad productiva a 750 RPM .....	23
Tabla 4.14 Demanda a cubrir en el escenario pesimista.....	24
Tabla 4.15 Demanda a cubrir escenario optimista .....	25
Tabla 4.16 Información estrategia de planificación .....	26
Tabla 4.17 Costos método estrategia de planificación .....	27
Tabla 4.18 Método estrategia nivelada.....	28
Tabla 4.19 Tabla de costos estrategia de planificación .....	28
Tabla 4.20 Costos de producción método de transporte.....	29
Tabla 4.21 Método de transporte con dos operarios .....	29
Tabla 4.22 Inventario inicial al mes de Julio 2022 .....	30
Tabla 4.23 Ventas inesperadas y consumo empresarial por mes .....	31
Tabla 4.24 Demanda por color considerando stock inicial y final.....	31
Tabla 4.25 Orden de producción.....	32
Tabla 4.26 Plan Maestro desde julio a octubre 2022 .....	33
Tabla 4.27 Plan maestro desde noviembre 2022 a febrero 2023 .....	34
Tabla 4.28 Plan maestro desde marzo 2023 a junio 2023 .....	35
Tabla 4.29 Parámetros de producción .....	36
Tabla 4.30 Inventario inicial de materias primas .....	37
Tabla 4.31 Inventario inicial de pigmentos .....	38



Tabla 4.32 Requerimiento de materiales segundo semestre 2022 .....	39
Tabla 4.33 Requerimiento de materiales primer semestre 2023 .....	40
Tabla 4.34 Inventario final de materias primas.....	40
Tabla A.8.1 Cantidad de días de producción por color para la producción maestra.....	51
Tabla A.8.2 Filamentos por color para la producción maestra .....	52

## Lista de Figuras

Figura 1.1 Impresoras de antes y de ahora.....	3
Figura 2.1 Productos Cicla 3D .....	7
Figura 2.2 Controladores y Tolva .....	8
Figura 2.3 Bobinado, controles de diámetro y acumulador.....	8
Figura 2.4 Apilado en mesas de producción.....	9
Figura 2.5 Producto Final y racks .....	10
Figura 4.1 Tendencia de demanda histórica .....	19
Figura 4.2 Demanda pronosticada y demanda promedio .....	27
Figura 4.3 Materiales para fabricar un filamento.....	37
Figura A.1 Método de transporte para dos operarios. ....	51
Figura A.2 PRM mes de junio 2022.....	52
Figura A.3 PRM mes de julio 2022.....	53
Figura A.4 PRM mes de agosto 2022.....	54
Figura A.5 PRM mes de septiembre 2022.....	55
Figura A.6 PRM mes de octubre 2022 .....	56
Figura A.7 PRM mes de noviembre 2022 .....	57
Figura A.8 PRM mes de diciembre 2022 .....	58
Figura A.9 PRM mes de enero 2023 .....	59
Figura A.10 PRM mes de febrero 2023.....	60
Figura A.11 PRM mes de marzo 2023 .....	61
Figura A.12 PRM mes de abril 2023.....	62
Figura A.13 PRM mes de mayo 2023 .....	63
Figura A.14 PRM mes de junio 2023.....	64
Figura A.15 Variables y costos entregados por el Solver para el escenario probable sin inventario	65
Figura A.16 Variables y costos entregados por el Solver para escenario pesimista sin inventario ...	66
Figura A.17 Variables y costos entregados por el Solver para escenario optimista sin inventario ...	67
Figura A.18 Variables y costos entregados por el Solver para escenario probable con inventario ...	68
Figura A.19 Variables y costos entregados por el Solver para escenario pesimista con inventario ..	69
Figura A.20 Variables y costos entregados por el Solver para escenario optimista con inventario ..	70

## **Capítulo 1. Introducción**

### **1.1. Antecedentes**

Previo a la impresión 3D, artistas y diseñadores de productos desarrollaban prototipos en un mundo bidimensional a través del papel y cuando necesitaban traspasarlo a un modelo en tres dimensiones para visualizar realmente como sería, lo hacían montando piezas o esculpiendo a partir de bloques sólidos, el cual era un proceso que requería mucho tiempo además de ser altamente costoso. (Pearson, 2022). Actualmente se sigue utilizando este tipo de mecanismos, pero quienes tienen acceso a la impresión 3D han sido capaces de tener mayor facilidad a la hora de diseñar y realizar prototipos.

Este tipo de tecnología puede parecer un término y tecnología moderna, pero el comienzo de la impresión 3D data de la década de los 80, momento inmediatamente posterior a la invención de la impresora de tinta en 1976 cuando Chuck Hull saca a la luz el concepto de estereolitografía, técnica que hace posible crear un objeto en 3D a partir de datos digitales y que es la base para las máquinas de hoy en día (Guillén, 2017).

Se trata de fabricar un objeto tridimensional a través de la adición mediante la superposición de capas sucesivas de un determinado material gracias a una impresora que es capaz de fundirlo y así dar como resultado la réplica perfecta del formato digital que se trabajó. Este formato es conocido como STL, con sus siglas provenientes del inglés “StereoLithography”, que corresponde a un archivo informático de diseño asistido por computadora y que define geometría de objetos 3D. (Segura, S.F.)

Esta tecnología ha crecido y lo seguirá haciendo, lo que se ve reflejada en la cantidad de impresoras, materiales e interesados que se van sumando día a día tanto para conocer sobre el movimiento como para interiorizarse en el mundo “maker” y así entregar soluciones al “alcance de la imaginación”.

### **1.2. Alcances de la impresión 3D**

Como se puede imaginar, las aplicaciones de la impresión 3D son múltiples y muy variadas gracias a las diversas técnicas y materiales que existen hoy en día, todo va en función del objeto, la precisión en los detalles que se requiere y la resistencia de la pieza.

Corresponde a una tecnología que permite abaratar costos y tiempos de producción, a la cual se le puede dar uso en diferentes ámbitos de la vida, incluso a nivel cotidiano, en donde puede ser útil para la fabricación de juguetes, soportes, trofeos, maceteros, lapiceros, etc. Pero la verdad es que la impresión 3D va mucho más allá. Puede tener participación en diversas industrias tales como:

**Educación:** Fabricando replicas exactas de objetos difíciles de conseguir, haciendo que la visualización y el entendimiento mejore considerablemente. Además del hecho de poder incluir impresoras en la educación tanto básica, media como superior que permite al alumno interiorizarse con la tecnología y con esta técnica que tiene tanto alcance, ya sea a través de la réplica de objetos como la robótica.

**Medicina:** Aún en una fase inicial, pero sin duda corresponde a uno de los sectores con mayor potencial para el mundo de la impresión. Ya se han creado prótesis para distintas partes del cuerpo y se ha logrado el funcionamiento de órganos para el ser humano. Cabe destacar que durante la pandemia del coronavirus también ha sido útil la impresión 3D, puesto que se han fabricado mascarillas, “salvaorejas” y protectores faciales que cumplen con todos los requerimientos establecidos.

**Industrial:** Con la fabricación de distintas piezas como objeto final que van en reposición de sus productos o piezas fallidas. Creando diversos prototipos o maquetas para mostrar proyectos o piezas. La impresión de componentes electrónicos, engranajes, encajes o simplemente contribuyendo en el funcionamiento de algún producto existente.

**Alimentación:** Actualmente existen impresoras capaces de elaborar o sustituir procesos culinarios como la elaboración de postres o carne. Pero su uso principal está enfocado en la fabricación de moldes o cortes para galletas y repostería, realizando la forma que el cliente desee.

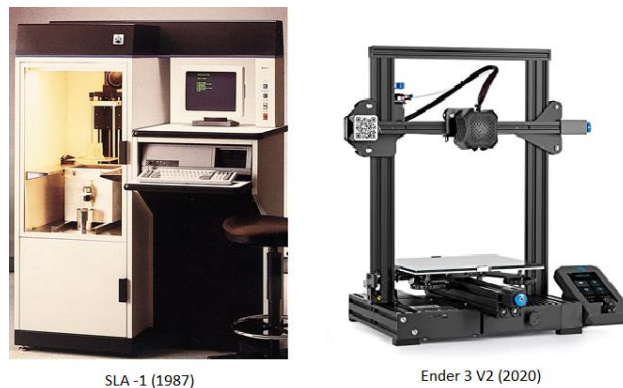
A grandes rasgos son esos los sectores en los que puede participar la impresión 3D. Es algo relativamente nuevo que va creciendo y buscando su lugar en el mundo, generando así una revolución en el mundo de la tecnología.

### **1.3. Impresoras y materiales de impresión**

Las impresoras son las encargadas de dar forma a diversos tipos de materiales desde el año 1987, gracias a la primera impresora comercial puesta en venta llamada SLA-1, la cual tenía un tamaño similar a un armario (Figura 1.1, imagen izquierda) y un elevado costo, por lo que era empleada en sectores de punta como el militar, el automotriz y el aeroespacial.

Con el acelerado impulso de los años siguientes, en donde surgieron nuevas tecnologías, materiales y empresas fabricantes de equipos y proveedoras del servicio, este tipo de máquinas comenzó a hacerse

más accesible a los más diversos sectores industriales y a empresas de menor envergadura, tanto por disminución de tamaño (Figura 1.1, imagen derecha) como su costo.



**Figura 1.1 Impresoras de antes y de ahora**  
Fuente: Elaboración propia.

Estos avances tecnológicos permitieron que los productos obtenidos dejaran de ser prototipos y comenzaran a ser piezas aptas para el uso final. En este momento de su evolución, este conjunto de tecnologías aditivas empezó a denominarse **Manufactura Rápida** (Ruscitti, Agosto 2015) y a ser consideradas una alternativa a los procesos productivos tradicionales.

Este crecimiento exponencial ha sido soportado por Internet, gracias a los diversos foros y redes sociales que han permitido masificar la impresión 3D y dando a lugar al mismo tiempo a que se encuentren nuevas aplicaciones constantemente con diversos tipos de materiales.

Cabe destacar que una impresora no puede utilizar cualquier material para imprimir, sino que tiene que ser uno compatible con el tipo de impresora y la tecnología utilizada. Estos materiales usados para la impresión de objetos en tres dimensiones pueden ser líquidos, sólidos, flexibles, transparentes, de colores, etc. Materiales que según sus propiedades pueden satisfacer los distintos requerimientos del objeto a realizar. Principalmente se destacan estos:

**Ácido Poliláctico (PLA):** Corresponde a uno de los filamentos de impresión más utilizados gracias a su estabilidad. Está hecho en base a maíz y trigo, lo que lo convierte en un material amigable con el medio ambiente y que no emite gases tóxicos como sí lo hacen otro tipo de filamentos. Permite un fácil procesado y una alta velocidad de impresión.

**Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS):** Este tipo de material se utiliza principalmente en ambientes profesionales gracias a su alta resistencia a impactos como a altas temperaturas. Similar al PLA

permite procesarlo una vez impresa la pieza. Tiene como desventaja que produce gases tóxicos en el momento de impresión.

**Poliéster de Glicol (PETG):** Filamento plástico muy similar al PET. Mezcla la simplicidad del PLA con la resistencia del ABS, por lo que es un material muy resistente a la corrosión, temperatura, impactos y agentes químicos. Es impermeable, lo que lo convierte en ideal para utilizarlo en envases para alimentos y bebidas. Su punto negativo es que no es biodegradable.

**Poliuretano termoplástico (TPU):** Material que se caracteriza por su alta flexibilidad y durabilidad a la transformación.

En lo que respecta al mercado nacional, por mucho tiempo no existió una empresa que fabricara estos productos, por lo que el consumo de estos materiales puede ser inferido de datos de importación obtenidos de la Aduana desde el año 2014 hasta el 2020. Considerando todos los materiales que existen para la impresión 3D, la demanda se muestra en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1 Importaciones anuales de filamentos para impresión 3d**

Año	Cantidad (Ton)
2014	105,8
2015	126,0
2016	112,5
2017	135,5
2018	195,2
2019	112,9
2020	131,2

Fuente: Elaboración propia.

En base a esta información, se puede inferir que el consumo nacional mensual corresponde aproximadamente a 10 toneladas de filamentos de impresión 3D en sus diversas variedades. Además, en base a un estudio realizado por la firma Ameco Research el año 2019, se espera que el mercado global crezca de 255 millones a 1.189 millones de dólares desde 2017 hasta el 2024, una tasa de crecimiento del 25.8% anual. En base a este crecimiento global y consumo es en dónde nace Cicla3D, única empresa nacional que fabrica materiales avanzados para la impresión 3D, principalmente PLA y que tiene un amplio alcance nacional y que ya ha concretado ventas en el extranjero.

#### **1.4. Objetivos de la memoria de título**

El ritmo de crecimiento y el consumo que existe en el mercado genera la necesidad de establecer un sistema de planificación de órdenes de producción el cual permita a Cicla 3D anticiparse y satisfacer la demanda, además de proyectarse en el futuro bajo el concepto de Lean Manufacturing, disminuyendo así posibles pérdidas y estancamientos de productos en inventario.

Todo esto es necesario para una empresa emergente, única en fabricar este tipo de materiales en Chile, donde la necesidad de tener el producto demandado en el momento que se requiere y en las cantidades que se demanda es vital para que surja y se establezca en el mercado. El mundo de la impresión 3D cada vez más se está haciendo presente tanto a nivel nacional como mundial, donde Cicla 3D ha logrado vender hasta 2.8 toneladas de PLA de diversos colores en un mes.

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

Actualmente Cicla3D no conoce su demanda, ya que es una empresa que recientemente opera en el mercado, en donde es natural observar un comportamiento sin una tendencia clara y demanda variable, por lo que un modelo que permita pronosticarla sería útil para poder anticiparse y planificar las órdenes de producción en base a los datos históricos. No cuenta con una planificación de la producción fundamentada, se realiza de manera intuitiva, por lo que muchas veces se trabaja en contra del tiempo para satisfacer los pedidos. Esto lleva a la definición del objetivo general y de los objetivos específicos de este trabajo:

**Objetivo general:** Diseñar un sistema de planificación de órdenes de producción para Cicla 3D, capaz de satisfacer la demanda actual en base a datos históricos, permitiendo anticiparse con las materias primas que se requieren y evitando el estancamiento de productos dentro de inventario.

#### **Objetivos específicos:**

- Estudiar el mercado de los filamentos de impresión y analizar los datos de ventas históricos
- Determinar la capacidad productiva de Cicla 3D.
- Diseñar nuevos escenarios productivos.
- Desarrollar un modelo de planificación de producción

## **Capítulo 2. Cicla 3D**

### **2.1. Historia de la empresa**

Cicla 3D nace en el año 2017 en la Universidad de Maine, Estados Unidos, como tesis de pregrado de Ingeniería Mecánica de Rogers Escalup (CEO). Luego, al regresar a Chile, junto a sus compañeros de facultad, motivados a desarrollar tecnología y acercar la manufactura avanzada la industria 4.0 al país, crean el proyecto Cicla 3D. Crear filamentos de impresión 3D y desarrollar materiales compuestos para este proceso de fabricación.

En 2018 se adjudican el torneo de emprendimiento tecnológico del Biobío, consolidándose como empresa en el año 2019. Ese mismo año, fueron reconocidos como el proyecto más innovador en la feria de innovación tecnológica organizada por Inacap, obteniendo financiamiento para acrecentar conocimientos en un viaje a España a estudiar innovación en la Universidad Politécnica de Valencia.

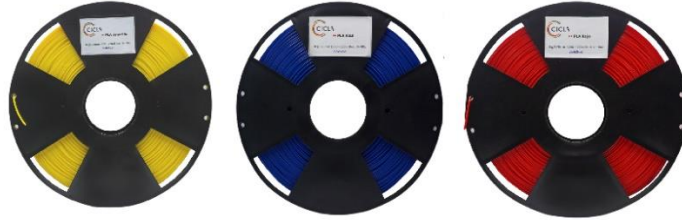
Ese mismo año y con el apoyo de un Subsidio Semilla de Asignación Flexible de Innovación de Corfo, se montó la primera planta de fabricación de filamentos de impresión 3D en Chile, asociándose con el grupo de empresas Madesal, del cual hoy forma parte.

Ya en el año 2020 se comercializa la primera tonelada de filamentos PLA y se desarrolla el filamento antimicrobial con nanopartículas de cobre Nanocicla, el cual permite insertarse en el mercado nacional y levanta interés en el extranjero, siendo seleccionados por la aceleradora Tampa Bay Wave en Florida, Estados Unidos, donde actualmente poseen una oficina comercial. Finalmente, la expansión continuó en septiembre del 2021 donde se desplazaron a Brasil, específicamente a Toledo, en Paraná, siendo parte hoy en día del BioPark y próximos a abrir una nueva línea productiva.

Durante el segundo semestre del 2021 ha sido tanto su impacto que ha seguido ganando financiamientos Corfo y recientemente en el mes de diciembre Start-Up Chile los premió como la Startup más innovadora del programa Ignite2.

Actualmente Cicla 3D cuenta con 16 personas trabajando, repartidos entre producción y el área administrativa, la cual comprende un departamento de operaciones, comercial y de innovación y desarrollo, quienes gracias a sus esfuerzos son capaces de producir el único filamento de PLA chileno.





**Figura 2.1 Productos Cicla 3D**  
Fuente: Elaboración propia

Cuenta con una variedad de 12 colores de PLA, los cuales se comercializan en formato de 1 kilogramo y de medio kilogramo a través de su página web, gracias al e-commerce, además de vender presencialmente y estar presentes en Mercado Libre. Cabe mencionar que cuentan con revendedores quienes se encuentran distribuidos a lo largo del país.

Cuenta con una bodega en la cual almacenan su stock en concepción, en la cual existen productos que tienen mucho flujo y otros que no tanto, ocupando espacio y generando así, que se acumulen productos en el piso y no en los racks que es el lugar que corresponde. Por último, poseen una bodega en Santiago, la cual distribuye sus productos a los lugares más cercanos.

## **2.2. Proceso productivo y producto final**

Cicla 3D actualmente fabrica un tipo de material llamado PLA, el cual se fabrica en diversos colores y otros con ciertos aditivos que permiten entregarle cualidades distintivas a este mismo material.

A los 8:00 am comienza el turno con la activación de los controladores de la extrusora y con la formación de sacos de mezcla, los cuales contienen pellets de PLA natural y pellets de pigmentos en distintas proporciones. Cada color tiene sus parámetros establecidos previamente los cuales permiten crear sacos de entre 30-60 kgs según sea la necesidad.

Estos son realizados durante la mañana y en la tarde, y se cargan a la tolva de la extrusora según el proceso lo vaya requiriendo. Para esto se necesita una escalera tipo tijera ya que el proceso de carga es en altura. Las Figuras 2.2 y 2.3 muestran parte del equipamiento del sistema productivo.



**Figura 2.2 Controladores y Tolva**  
Fuente: Elaboración propia

Una vez que se da inicio al proceso de extrusión y esta mezcla de pellets pasa por el tornillo, comienza a salir el filamento del color deseado a través de la boquilla, el cual pasa a través de unas camas de enfriamiento, pasa por dos controles de diámetro y comienza a bobinarse en un carrete.

Este proceso de bobinado dura aproximadamente 7 minutos según sea las RPM del motor encargado de extruir el filamento y se saca cuando ya se han enrollado 320 m del material.



**Figura 2.3 Bobinado, controles de diámetro y acumulador**  
Fuente: Elaboración propia

Cuando se sacan los carretes, la persona encargada de la operación debe reiniciar los sistemas de control de diámetro y comenzar el proceso nuevamente con otro carrete. Todo esto es posible gracias a un acumulador que existe, ya que el proceso es continuo y no se deja de operar hasta el final del día que es a las 23:00 hrs aproximadamente.

Cuando el operador reinicia todo el proceso, se empieza con el empaquetamiento del producto. Se colocan dos stickers en cada carrete, uno con el número de serie de producción y otro el cual indica los colores y temperaturas de boquilla y de cama recomendadas al momento de imprimir. Se introduce una silica gel, la cual debe estar seca previamente por un horno convencional y se empaqueta en una bolsa plástica apta para ser sellada al vacío.

Este producto finalmente va a la selladora al vacío, la cual puede funcionar cada un minuto y medio aproximadamente para que realice su trabajo de manera óptima. Finalmente es guardado en las cajas pequeñas que son de fácil armado tardando 20 segundos en confeccionarse.

El producto final es apilado en mesas de producción en pilas de 10 unidades (Ver Figura 2.4), cosa que permita llevar un fácil conteo del producto. Cuando ya no queda más espacio, son llevados a sus racks correspondientes en bodega.



**Figura 2.4 Apilado en mesas de producción**

Fuente: Elaboración propia.

Al final de día generalmente se espera una producción de 110 filamentos vendibles. Cabe destacar que como todo proceso productivo existen pérdidas por mermas, las cuales son por que el filamento no se encuentra dentro de su tolerancia de diámetro, además de filamentos llamados “cambio de color” los cuales no son uniformes dentro de los 320 m y presentan distorsiones en su color debido a la producción anterior.

Por último, mencionar que, para pasar de un color a otro en producción, la máquina debe tener un descanso de 4 horas aproximadamente.

El producto final que comercializa Cicla 3D (ver Figura 2.5) son filamentos para la impresión 3D hechos de PLA (ácido poliláctico) y pigmentos, los cuales se mezclan y se extruyen, se bobinan en un carrete, para luego introducir la silica gel, dos stickers, una bolsa de sellado al vacío y finalmente guardarlo en su caja de empaquetamiento.



**Figura 2.5 Producto Final y racks**  
Fuente: Elaboración propia.

## Capítulo 3. Sistema de Planificación de Producción para Cicla 3D.

En este capítulo se plantea la estructura del sistema de planificación de producción para Cicla 3D que se desarrolla en el Capítulo 4 y donde también se presentan y analizan sus resultados.

### 3.1. Estudio de mercado

Para realizar un buen proyecto, es necesario conocer el mercado en el cual se desenvuelve la organización. Cicla 3D es el único productor de filamentos de impresión 3D en Chile, por lo que se procedió a investigar las importaciones de este tipo de producto para hacerse una idea del consumo nacional. Además, se recopilaron los datos históricos de ventas por color para utilizarlos en una proyección de demanda.

### Pronóstico de demanda

Pronosticar es el arte y la ciencia de predecir eventos futuros. Implica el empleo de datos históricos y su proyección hacia el futuro mediante algún tipo de modelo matemático, con el objetivo de orientar la producción, la capacidad y los sistemas de planificación de la empresa (Heizer, 2009). Para esto es necesario seguir siete pasos básicos:

1. Uso del pronóstico: Será utilizado para proyectar la demanda de un mes con el propósito de planificar la producción de la empresa.
2. Aspectos que se deben pronosticar: Serán X productos que se venden en formato de un kilo.
3. Horizonte: Corto plazo.
4. Seleccionar el modelo: Un método de análisis cuantitativo frecuentemente utilizado es el de los mínimos cuadrados, debido a que minimiza la suma de desviaciones cuadráticas entre los valores reales y los estimados de la variable dependiente para la información muestral.

Se utilizó este método dado que es el que más frecuente y preciso. Su formulación es la siguiente:

$$\hat{y}(x) = a + b(x) \quad (3.1)$$

donde:

$$b = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x^2 - n\bar{x}^2} \quad (3.2)$$

$$a = \hat{y} - b\hat{x} \quad (3.3)$$

$\hat{x}$  y  $\hat{y}$  son las medias de las variables independientes y dependientes respectivamente y  $n$  es el número de observaciones.

5. Datos: Fueron recopilados en el punto anterior, ya que Cicla 3D es el único productor nacional.
6. Realizar el pronóstico: Este es realizado a través de Excel.
7. Validar e implementar resultados: Resultados trasladados a la planificación agregada y al modelo de programación con el propósito de lograr los objetivos del proyecto.

Debido a que los datos utilizados para aplicar la fórmula (3.1) indican una demanda con tendencia decreciente, se utilizó como método de pronóstico de demanda la información de crecimiento entregada en el desarrollo de la sección 3.1 aplicada al promedio simple de los datos históricos de demanda. La forma de calcular el nuevo pronóstico se presenta a continuación:

$$\text{Promedio simple} = \frac{\sum \text{DDA Históricas}}{\text{Cantidad de periodos en evaluación}} \quad (3.4)$$

Este promedio simple corresponde a la demanda del primer mes pronosticado, dado por julio del 2022. Para el cálculo de los siguientes 11 meses se determinó el crecimiento mensual que se debe considerar hasta lograr el porcentaje desarrollado de la sección 3.1 para el último mes del pronóstico.

$$\% \text{Crecimiento mensual} = \frac{\% \text{Crecimiento anual}}{11} \quad (3.5)$$

A modo de crear una función lineal, se determinó una constante de crecimiento que está dada por la fórmula (3.6).

$$\text{Cte. Crecimiento} = \% \text{Crecimiento mensual} \cdot \text{Promedio simple} \quad (3.6)$$

Resultando una función lineal dada por la fórmula (3.7).

$$\text{Pronóstico}(x) = \text{Cte. Crecimiento} \cdot x + \text{Promedio simple} \quad (3.7)$$

con  $x = 0,1,2,3 \dots 11$ .

### 3.2. Capacidad de producción y escenarios productivos

Existe solo una máquina, la cual es ocupada 16 horas diarias con un color de filamento por día. Para hacer un cambio de color debe enfriarse y cargarse la máquina. Este proceso está contemplado en 4 horas aproximadamente desde que se deja de producir hasta que se encienden nuevamente los controles.

Considerando lo anterior, se determinó una capacidad de diseño en base al máximo de revoluciones por minuto de la máquina que permite entregar un filamento bien bobinado. Entregando así, la cantidad de filamentos que pueden resultar por minuto en un periodo máximo de 20 horas.

En base a los puntos anteriores, se plantean tres escenarios posibles:

1. *Pesimista*: Escenario en el cual se satisface un porcentaje menor al calculado de la demanda proyectada.
2. *Probable*: Escenario que satisface la proyección de la demanda a través de la sección 3.1.
3. *Optimista*: Escenario que satisface un porcentaje mayor de la demanda proyectada.

### **3.3. Planificación de la Producción**

En todos sus niveles, la planificación de la producción establece la combinación de recursos que minimiza (maximiza) el costo (beneficio) de la producción durante el horizonte deseado, con lo que se transforma en un principio fundamental en la administración de operaciones.

**Planificación agregada:** En este nivel se ignora el detalle de cuantas unidades de cada filamento se producirá. Solo se busca tratar de satisfacer la demanda pronosticada ajustando los índices de producción, los niveles de mano de obra, los niveles de inventario, el trabajo en tiempo extra, las tasas de subcontratación y otro tipo de variables controlables. El objetivo de realizar este tipo de planificación es minimizar el costo para el periodo de un año, el cual tiene completa relación el pronóstico de demanda realizado en la sección 3.1. Para esto se definió:

- Unidad lógica de venta el cual será el Filamento en formato de Kg.
- El pronóstico de demanda en el horizonte de tiempo de un año.
- Un método para definir los costos.
- Un modelo que combine los pronósticos y costos, con el fin de tomar las decisiones adecuadas.

Se utilizará una estrategia mixta, la cual involucra una mezcla entre la estrategia de persecución y la de nivelación con el objetivo de determinar la planificación agregada, específicamente el método gráfico y el método de transporte de programación lineal.

**Método gráfico:** Método fácil de entender y usar, será utilizado para comparar la demanda proyectada con la capacidad existente. Tiene más bien un enfoque de prueba y error que no garantiza un plan de producción óptimo.

**Método de transporte:** Puesto que el problema de planificación de Cicla 3D puede verse como un problema de asignación de capacidad de producción para satisfacer la demanda de filamentos en un horizonte de tiempo (un año) y se conocen los costos unitarios de producción, fue posible asociarlo al problema de transporte y así utilizar su método para su resolución.

Este método produce un plan óptimo para minimizar los costos. También es flexible en cuanto a que puede especificar la producción en tiempo normal y en tiempo extra para cada periodo, el número de unidades a subcontratar, los turnos extras y el inventario que se mantendrá de un periodo a otro.

**Programación maestra de producción:** Es una desagregación o desglose de la planificación agregada, la cual indica que tipo de filamentos se deben realizar y en qué periodo. Además, entrega la información a los sistemas de planeación del requerimiento de materiales.

**Planificación de requerimiento de materiales (MRP):** Por medio de este proceso, fue posible calcular y planificar las materias primas, piezas y suministros necesarios para fabricar los filamentos que indican el plan de producción maestro, con el objetivo de contar con todos los requerimientos necesarios para satisfacer la demanda.

### **3.4. Modelo de optimización para la planificación de Cicla 3D**

En esta sección se plantea un modelo de optimización con fuerza de trabajo fija, ya que Cicla 3D cuenta con 2 operarios los cuales poseen contrato, por lo que no se incurre en subcontratación ni finiquitos. Por otro lado, Cicla 3D desea un inventario final al término de cada periodo, lo que se traduce en la inexistencia de costos de escasez. Por último, para efectos del modelo, se consideró una capacidad productiva de 650 RPM, las que determinan la cantidad de filamentos a producir en distintas cantidades de horas de producción.

#### **Modelo matemático de programación lineal**

En este punto se presenta el modelo matemático, se presentan las variables seleccionadas, parámetros, conjuntos y restricciones, para luego comenzar con la creación de función objetivo. Es importante recordar que este modelo busca minimizar los costos de producción, y es por medio de este, que se buscará la obtención de cantidades óptimas para que ello ocurra.

Con la información ya recopilada y demanda pronosticada, se comienza un ordenamiento de datos para cargar en Excel y asignarles números a los parámetros, de esta forma, se obtendrán datos en base



a los escenarios anteriormente creados. Luego se generan pruebas las cuales entregan resultados para su posterior comparación.

### **Implementación del modelo de optimización**

Debido a que en la sección anterior ya se definió el modelo matemático, se da paso a explicar a grandes rasgos las opciones que tiene el solver de Excel, solver utilizado para el modelo. Con esta información se presenta el detalle de cómo se aplicó el modelo matemático en el Excel y los resultados obtenidos.

Una vez se cuente una cantidad de resultados óptimos se realiza el análisis de comparación de resultados de la planificación considerando los tiempos computacionales. Finalmente se concluye sobre el proceso de planificación de Cicla 3D.

## **Capítulo 4. Desarrollo del sistema de planificación de Cicla 3D**

### **4.1. Estudio de mercado para los productos de Cicla 3D**

El mercado global para el año 2018 de materiales plásticos (PLA, PET, TPU y ABS) fue de 70,5 millones de dólares en 2012 y se esperaba que alcanzara los 209,6 millones en 2018 (Consultora Markets and Markets , 2013). En el punto 1.3, se presenta que el mercado global crezca de 255 millones a 1.189 millones de dólares desde 2017 hasta el 2024, con una tasa de crecimiento del 25.8% anual, de este mercado (Contreras, 2019). América del Norte y Asia-Pacífico representa el 68% de la información presentada, por ende, para el resto de los continentes queda un 32%.

Este mercado tiene una gran oportunidad por las dimensiones que presenta, atrayendo el desarrollo de empresas relacionadas a esta área, donde es relevante realizar mejoras en estas para que tengan una operación acorde a lo que demanda el mercado, tal cual lo que plantea el siguiente informe.

Cabe destacar que en el punto 1.3 se presenta la información del mercado nacional obtenida por la aduana, donde, según la información histórica de Cicla 3D, se tiene que esta abarca aproximadamente el 10,3% de los filamentos de impresión 3D del mercado nacional. Esta información es relevante para entender el tamaño de los números que se presentan en este punto.

Por otro lado, de Cicla 3D se obtuvo la información (confidencial) con respecto a las ventas desde el inicio de la empresa hasta el presente. Se ordenó toda la información histórica y se determinó la cantidad vendida de cada uno de los colores que ha tenido Cicla 3D, logrando calcular el porcentaje de ventas de aquellos colores con lo que la organización cuenta frecuentemente para poder fabricar. En la Tabla 4.1 se presenta en porcentaje las ventas de los distintos colores. Como se puede apreciar en la tabla 4.1, la mitad de las ventas de Cicla 3D está explicada por los primeros cuatro colores, pero para efectos del estudio, se trabajó con aquellos colores con los que la empresa cuenta en stock para poder fabricar (ver Tabla 4.2).

**Tabla 4.1 Proporción de ventas por color**

Color	% Ventas	% Acum.
Blanco	19,7%	19,7%
Negro	16,1%	35,9%
Rojo	7,4%	43,3%
Amarillo	6,8%	50,1%
Azul	6,6%	56,7%
Verde	5,8%	62,5%
Metálico	5,4%	67,9%
Bronce	4,4%	72,4%
Celeste	3,4%	75,7%
Natural	3,2%	79,0%
Dorado	3,2%	82,1%
Rosado	2,8%	85,0%
Esmeralda	2,8%	87,7%
Púrpura	2,6%	90,3%
Carmesí	2,3%	92,7%
Ocre	2,2%	94,9%
Gris	1,8%	96,7%
Verde AM	1,0%	97,7%
Glossy	0,9%	98,6%
Café	0,8%	99,4%
Naranja	0,6%	99,9%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.2 Colores a trabajar**

Color	% Ventas	% Acum.
Blanco	19,7%	19,7%
Negro	16,1%	35,9%
Rojo	7,4%	43,3%
Amarillo	6,8%	50,1%
Azul	6,6%	56,7%
Verde	5,8%	62,5%
Celeste	3,4%	65,9%
Natural	3,2%	69,1%
Esmeralda	2,8%	71,9%
Carmesí	2,3%	74,2%

Fuente: Elaboración propia

Dicho esto, los colores con los que se realizó la proyección y que sirvieron para establecer el escenario probable, reflejan un 74,2% de las ventas de Cicla 3D.

Por último, para efectos del pronóstico de demanda, en la Tabla 4.3 se recopiló la información de la cantidad vendida por color durante cada mes de aquellos colores seleccionados en la Tabla 4.2 .

**Tabla 4.3 Historial de ventas por color**

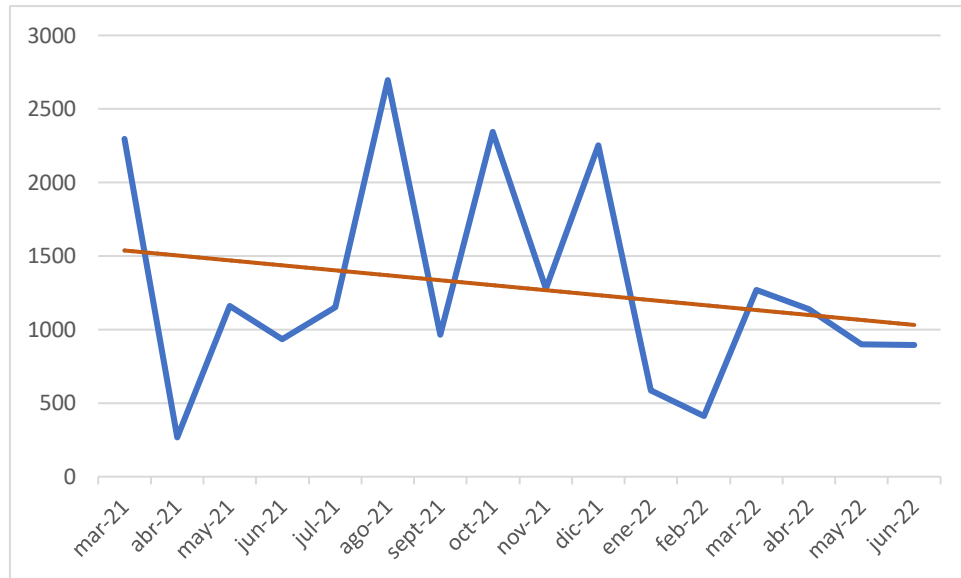
	Amarillo	Azul	Blanco	Celeste	Natural	Negro	Rojo	Carmesí	Verde	Esmeralda	Total
mar-21	249	237	480	166	66	397	267	76	241	117	2296
abr-21	29	11	92	9	11	50	20	15	12	18	267
may-21	88	72	351	36	50	297	84	47	67	67	1159
jun-21	78	50	328	29	44	219	54	33	60	39	934
jul-21	70	83	474	24	33	258	105	23	51	29	1150
ago-21	179	195	816	55	192	637	217	152	149	104	2696
sept-21	49	114	379	21	31	202	76	22	33	37	964
oct-21	218	266	401	111	166	606	176	125	161	114	2344
nov-21	120	143	215	117	144	135	153	45	132	75	1279
dic-21	238	45	749	94	72	572	231	24	101	127	2253
ene-22	81	113	147	16	32	84	27	21	63	4	588
feb-22	36	28	87	24	21	80	53	28	30	26	413
mar-22	69	42	497	48	35	389	67	11	89	23	1270
abr-22	92	94	251	70	84	170	142	62	124	52	1141
may-22	83	56	247	37	77	221	91	10	72	4	898
jun-22	46	34	288	29	0	243	56	26	148	26	896

Fuente: Elaboración propia

Con la información de la Tabla 4.3 fue posible pronosticar la demanda mensual para cada uno de los colores durante un año, la cual se detalla en el siguiente punto.

### **Pronóstico de demanda**

La Figura 4.1 muestra las demandas históricas y el gráfico de tendencia de esta demanda obtenido a partir de las ecuaciones (3.1), (3.2) y (3.3):  $y(x) = 1301,06471 - 33,62941 \cdot x$ . El hecho de que los datos históricos muestren una tendencia decreciente se explica por el breve tiempo que la empresa opera en el mercado, periodo en el que es natural observar un comportamiento sin una tendencia clara y volátil en su demanda.



**Figura 4.1 Tendencia de demanda histórica**

Fuente: Elaboración propia

Por el motivo explicado anteriormente se procedió a proyectar la demanda en base a su promedio histórico como punto de partida proyectando un crecimiento de demanda basado en el estudio presentado en la sección 4.1 (ver resultados en la Tabla 4.6):

- Se consideró como la demanda del mes de julio del 2022 el promedio de las ventas históricas.
- Para junio del 2023, es decir un año después, se espera un crecimiento del 25,8% con respecto al mes inicial del pronóstico (porcentaje obtenido de la sección 3.1).

**Tabla 4.4 Pronóstico de demanda por mes**

	x	Pronóstico	% Crecimiento	% Acumulado
jul-22	0	1285	0,00%	0,00%
ago-22	1	1315	2,35%	2,35%
sept-22	2	1345	2,35%	4,69%
oct-22	3	1375	2,35%	7,04%
nov-22	4	1405	2,35%	9,38%
dic-22	5	1435	2,35%	11,73%
ene-23	6	1465	2,35%	14,07%
feb-23	7	1496	2,35%	16,42%
mar-23	8	1526	2,35%	18,76%
abr-23	9	1556	2,35%	21,11%
may-23	10	1586	2,35%	23,45%
jun-23	11	1616	2,35%	25,80%

Fuente: Elaboración propia

Así se puede determinar una ecuación de la recta que permita seguir pronosticando la demanda a través del tiempo, reemplazando  $x$  por un valor desde 12 en adelante. El pronóstico está dado por la fórmula (3.7) y que está hecha en base a la Tabla 4.4.

$$\text{Pronóstico}(x) = 30,12 \cdot x + 1285$$

Por último, para poder reflejar la proyección obtenida en cada uno de los colores, fue necesario establecer el % por color a partir de las ventas históricas mostrada en la Tabla 4.3, la cual se presenta en la Tabla 4.7.

**Tabla 4.5 Suma total de ventas históricas por color**

Color	Ventas históricas	% Histórico
Amarillo	1725	8,39%
Azul	1583	7,70%
Blanco	5802	28,24%
Celeste	886	4,31%
Natural	1058	5,15%
Negro	4560	22,19%
Rojo	1819	8,85%
Carmesí	720	3,50%
Verde	1533	7,46%
Esmeralda	862	4,20%
Total	20548	100%

Fuente: Elaboración propia

Así, gracias a la Tabla 4.6 y 4.7 fue posible obtener la cantidad demandada por color en cada uno de los meses proyectados (ver Tabla 4.8).

**Tabla 4.6 Proyección de demanda por color**

	Amarillo	Azul	Blanco	Celeste	Natural	Negro	Rojo	Carmesí	Verde	Esmeralda	Todos
jul-22	108	99	363	55	66	285	114	45	96	54	1285
ago-22	110	101	371	57	68	292	116	46	98	55	1315
sept-22	113	104	380	58	69	298	119	47	100	56	1345
oct-22	115	106	388	59	71	305	122	48	103	58	1375
nov-22	118	108	397	61	72	312	124	49	105	59	1405
dic-22	120	111	405	62	74	318	127	50	107	60	1435
ene-23	123	113	414	63	75	325	130	51	109	61	1465
feb-23	126	115	422	65	77	332	132	52	112	63	1496
mar-23	128	118	431	66	79	339	135	53	114	64	1526
abr-23	131	120	439	67	80	345	138	55	116	65	1556
may-23	133	122	448	68	82	352	140	56	118	67	1586
jun-23	136	124	456	70	83	359	143	57	121	68	1616

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. Capacidad de producción y escenarios productivos

### Determinación de la Capacidad de producción

Se realizaron cuatro pruebas en la extrusora, cada una a distintas revoluciones por minuto, con el objetivo de determinar cuánto tiempo tardaba la producción de un filamento (ver Tabla 4.7).

**Tabla 4.7 Tiempo de producción por RPM**

RPM	Segundos	Minutos
600	436	7,3
650	398	6,6
700	354	5,9
750	313	5,2

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que dicho tiempo se determinó en un promedio de diez mediciones por cada una de las revoluciones mostradas en la tabla anterior.

Por otro lado, cabe destacar que, al momento de iniciar el turno de producción, se necesitan de 50 minutos para calentar y preparar todo, donde a los 66 minutos recién comienza a producirse el primer carrete de filamento vendible. En esos 16 minutos intermedios desde el proceso de calentamiento hasta el primer carrete vendible, se estabiliza el diámetro y se elimina cualquier tipo de impureza que pueda existir de la producción anterior. El proceso se corta 30 minutos antes de terminar el turno.

En base a lo anterior, se consideraron distintos turnos de producción y se calcularon los filamentos que se pueden fabricar en base a las revoluciones mostradas en la Tabla 4.7.

**Tabla 4.8 Capacidad productiva a 600 RPM**

Turno (hrs)	Turno (min)	Tpo de producción (min)	Filamento (kg)
2	120	24	3
3	180	84	12
4	240	144	20
5	300	204	28
6	360	264	36
7	420	324	45
8	480	384	53
9	540	444	61
10	600	504	69
11	660	564	78
12	720	624	86
13	780	684	94
14	840	744	102
15	900	804	111
16	960	864	119
17	1020	924	127
18	1080	984	135
19	1140	1044	144
20	1200	1104	152

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.9 Capacidad productiva a 650 RPM**

Turno (hrs)	Turno (min)	Tpo de producción (min)	Filamento (kg)
2	120	24	4
3	180	84	13
4	240	144	22
5	300	204	31
6	360	264	40
7	420	324	49
8	480	384	58
9	540	444	67
10	600	504	76
11	660	564	85
12	720	624	94
13	780	684	103
14	840	744	112
15	900	804	121
16	960	864	130
17	1020	924	139
18	1080	984	148
19	1140	1044	157
20	1200	1104	166

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 4.10 Capacidad productiva a 700 RPM**

Turno (hrs)	Turno (min)	Tpo de producción (min)	Filamento (kg)
2	120	24	4
3	180	84	14
4	240	144	24
5	300	204	35
6	360	264	45
7	420	324	55
8	480	384	65
9	540	444	75
10	600	504	85
11	660	564	96
12	720	624	106
13	780	684	116
14	840	744	126
15	900	804	136
16	960	864	146
17	1020	924	157
18	1080	984	167
19	1140	1044	177
20	1200	1104	187

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.11 Capacidad productiva a 750 RPM**

Turno (hrs)	Turno (min)	Tpo de producción (min)	Filamento (kg)
2	120	24	5
3	180	84	16
4	240	144	28
5	300	204	39
6	360	264	51
7	420	324	62
8	480	384	74
9	540	444	85
10	600	504	97
11	660	564	108
12	720	624	120
13	780	684	131
14	840	744	143
15	900	804	154
16	960	864	166
17	1020	924	177
18	1080	984	189
19	1140	1044	200
20	1200	1104	212

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, las horas de turnos mínima y máxima corresponden a 2 horas y 20 horas respectivamente. El mínimo por los tiempos de preparación y el máximo por el tiempo que se necesita enfriar el proceso para comenzar una nueva producción, tal como se indicó en la sección 2.2.

### Definición de escenarios productivos

Como se mencionó en la sección 3.2, se plantearon distintos escenarios productivos, los cuales se presentan a continuación en mayor detalle.

- **Pesimista:** Para este escenario se establece que se cumplirá con 2/3 de la demanda proyectada en la sección 4.1, lo cual se refleja en la Tabla 4.14.
- **Probable:** Este escenario está dado por la proyección de demanda calculada anteriormente, detallado por color, en dónde se producirá al menos lo que indica la demanda proyectada, es decir la información presentada en la Tabla 4.6.
- **Optimista:** Para este escenario se conversó con la organización para poder determinar un porcentaje de crecimiento que le gustaría abarcar de la demanda proyectada. Estos están de acuerdo en cubrir un 35% más de lo proyectado en los siguientes 2 años. La cantidad de filamentos en formato de kilo que Cicla 3D estaría fabricando al año serían al menos 13.178 (ver Tabla 4.15).

**Tabla 4.12 Demanda a cubrir en el escenario pesimista**

	Amarillo	Azul	Blanco	Celeste	Natural	Negro	Rojo	Carmesí	Verde	Esmeralda	Total
jul-22	72	66	242	37	45	191	76	31	64	36	860
ago-22	74	68	248	38	46	195	78	31	66	37	881
sept-22	76	70	254	39	47	199	80	32	67	38	902
oct-22	77	71	259	40	48	204	82	33	69	39	922
nov-22	79	73	265	41	49	208	83	33	70	40	941
dic-22	81	74	271	42	50	213	85	34	72	41	963
ene-23	82	76	276	43	51	217	87	35	73	41	981
feb-23	84	77	282	44	52	222	89	35	75	42	1002
mar-23	86	79	288	44	53	226	91	36	76	43	1022
abr-23	88	80	293	45	54	231	92	37	78	44	1042
may-23	89	82	299	46	55	235	94	38	79	45	1062
jun-23	91	83	305	47	56	240	96	38	81	46	1083

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.13 Demanda a cubrir escenario optimista**

	Amarillo	Azul	Blanco	Celeste	Natural	Negro	Rojo	Carmesí	Verde	Esmeralda	Total
jul-22	146	134	490	75	89	385	154	61	129	73	1735
ago-22	150	137	502	77	92	394	158	63	133	75	1781
sept-22	153	140	513	79	94	403	161	64	136	77	1820
oct-22	156	144	525	81	96	412	165	66	139	78	1862
nov-22	160	147	536	82	98	421	168	67	142	80	1901
dic-22	163	150	548	84	100	430	172	68	145	82	1942
ene-23	167	153	559	86	102	439	176	70	148	83	1983
feb-23	170	156	571	88	104	449	179	71	151	85	2024
mar-23	173	159	582	89	107	458	183	73	154	87	2065
abr-23	177	162	594	91	109	467	186	74	157	89	2106
may-23	180	165	605	93	111	476	190	76	160	90	2146
jun-23	184	169	617	95	113	485	194	77	163	92	2189

Fuente: Elaboración propia

### 4.3. Modelo de planificación

A lo largo de la sección 4.3 se muestra el desarrollo de las planificaciones para Cicla 3D.

#### 4.3.1. Planificación agregada

Se recopilaron los datos de la proyección de ventas de filamentos de la Tabla 4.4, para luego determinar los días de producción por mes, el cual fue obtenido gracias a la revisión del calendario restando cada uno de los feriados correspondientes.

#### Estrategia de planificación

Luego, se calculó la demanda diaria al dividir la demanda mensual esperada entre el número de días de producción (días hábiles) contenidos en cada mes. El resultado se muestra en la Tabla 4.14.

Cabe mencionar que, al conversar con la organización, se entregó un inventario inicial de 356 filamentos y fue posible determinar un número de ventas inesperadas y de consumo por necesidades de la empresa, el cual equivale a 700 filamentos. Este inventario final por mes se asume que será utilizado para ventas imprevistas o requerimientos de la empresa en su totalidad.

**Tabla 4.14 Información estrategia de planificación**

Mes	DDA	Ventas inesperadas	Días de producción	DDAxDía
Julio	1285	700	21	95
Agosto	1315	700	22	92
Septiembre	1345	700	21	97
Octubre	1375	700	19	109
Noviembre	1405	700	21	100
Diciembre	1435	700	21	102
Enero	1465	700	21	103
Febrero	1496	700	20	110
Marzo	1526	700	23	97
Abril	1556	700	19	119
Mayo	1586	700	22	104
Junio	1616	700	20	116

Fuente: Elaboración propia

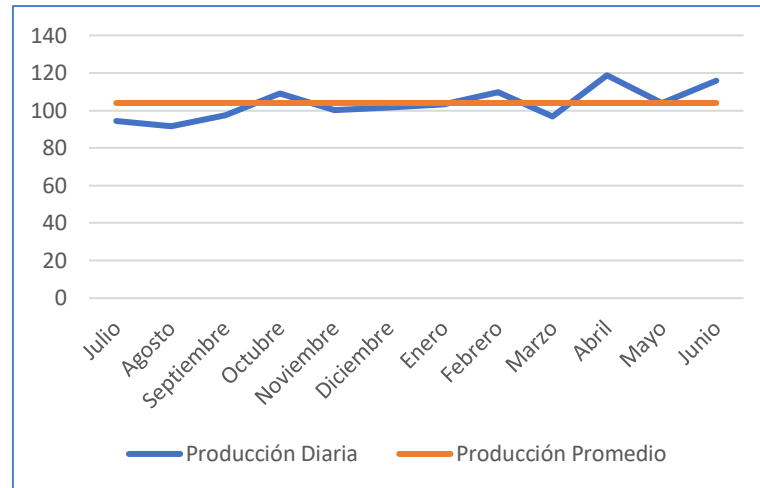
Por último, se determinó una demanda pronosticada promedio, la cual está dada por la siguiente fórmula:

$$\text{Requerimientos promedio} = \frac{\sum(\text{DDA} + \text{Ventas inesperadas})}{\sum \text{Días de producción}} \quad (4.1)$$

$$\text{Requerimientos promedio} = \frac{17405 + 8400}{250}$$

$$\text{Requerimientos promedio} = 103,22 \text{ unidades por día}$$

Para efectos de producción, es sabido que no se pueden producir 103,22 unidades, por lo que se utilizó el valor de 104 unidades por día. La figura 4.2 ilustra la diferencia que hay entre el pronóstico y la demanda promedio.



**Figura 4.2 Demanda pronosticada y demanda promedio**

Fuente: Elaboración propia

La estrategia que se empleó para resolver esta diferencia y determinar el costo de planificación del plan agregado, fue mantener una fuerza de trabajo fija a lo largo del periodo establecido. Esto debido a que Cicla 3D cuenta con su personal establecido, en donde no realiza subcontrataciones, no contrata ni despide trabajadores de acuerdo a su producción mensual. Las consideraciones para la determinación del costo unitario fueron:

- El costo de mantener en inventario está dado por el 40% del precio de venta de un filamento.
- La tasa de sueldo por día está calculada en base a lo que recibe el operador con sueldo más alto en Cicla 3D. Este valor se determinó dividiendo el sueldo por 30 días promedio que incluye el mes.
- Se utilizó un inventario inicial de 356 unidades dado por Cicla 3D, el cual corresponde a las unidades en bodega al terminar el mes de junio del año 2022.

En la Tabla 4.17 se presenta la información de costos.

**Tabla 4.15 Costos método estrategia de planificación**

Costo de mantener en inventario	\$	4.200
Tasa de sueldo por día	\$	24.079
Costo unitario de producción	\$	5.480

Fuente: Elaboración propia

Con esto se procedió a resolver la estrategia nivelada de planificación..

**Tabla 4.16 Método estrategia nivelada**

Mes	Producción en 104 u / día	Dda + Inv Final	Cambio inventario	Inventario
Julio	2184	1985	199	555
Agosto	2288	2015	273	828
Septiembre	2184	2045	139	967
Octubre	1976	2075	-99	868
Noviembre	2184	2105	79	947
Diciembre	2184	2135	49	996
Enero	2184	2165	19	1015
Febrero	2080	2196	-116	899
Marzo	2392	2226	166	1065
Abril	1976	2256	-280	785
Mayo	2288	2286	2	787
Junio	2080	2316	-236	551

Fuente: Elaboración propia

Con la Tabla 4.19 en conjunto con la Tabla 4.15 fue posible determinar los costos totales de la estrategia propuesta en la estrategia de planificación, la cual se presenta en la Tabla 4.20.

**Tabla 4.17 Tabla de costos estrategia de planificación**

Mantenimiento de inventarios	\$	43.104.600
Mano de obra	\$	12.039.500
Costo de producción	\$	142.480.000

Fuente: Elaboración propia

Dichos valores totales de costos se calcularon de la siguiente forma:

*Mantenimiento de inventarios*

$$= \sum \text{Inventario} * \text{Costo de mantener en inventario} \quad (4.2)$$

$$\text{Mantenimiento de inventarios} = 10.263 * \$4.200$$

$$\text{Mano de obra} = \sum \text{Días de producción} * \text{tasa de sueldo por día} * 2 \text{ trabajador} \quad (4.3)$$

$$\text{Mano de obra} = 250 * \$24.079 * 2$$

Cabe mencionar que para el cálculo de la mano de obra se utilizaron dos trabajadores, puesto que tal como lo indican la Tabla 4.8, Tabla 4.9, Tabla 4.10 y Tabla 4.11, una producción de 104 unidades

diarias se logra con dos turnos de un operario. Con todo lo anterior, se determinó que el costo total para implementar esta estrategia es de \$197.624.100 pesos.

### Método de transporte

Dado que el problema de la planeación agregada se ve como un problema de asignación de la capacidad de operación para satisfacer la demanda pronosticada, se utilizó la estructura del método de transporte aplicado a la planificación agregada de producción, con el objetivo de obtener una mejor solución que el método de la estrategia de planificación. En la Tabla 4.20 se presentan los costos necesarios para resolver el problema:

**Tabla 4.18 Costos de producción método de transporte**

Costos	Valor por filamento
Tiempo regular	\$ 5.480
Tiempo Extra	\$ 6.302
Mantener en inventario	\$ 4.200

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo que la estrategia de planificación planteada, se presenta la demanda pronosticada por mes en conjunto con la capacidad de producción en tiempo regular y en tiempo extra si es que fuese necesario.

**Tabla 4.19 Método de transporte con dos operarios**

	Capacidad con dos operarios y con 650 RPM			
	DDA	Inv. Final	Capacidad Regular	Capacidad Tiempo Extra
Julio	1285	700	2730	756
Agosto	1315	700	2860	792
Septiembre	1345	700	2730	756
Octubre	1375	700	2470	684
Noviembre	1405	700	2730	756
Diciembre	1435	700	2730	756
Enero	1465	700	2730	756
Febrero	1496	700	2600	720
Marzo	1526	700	2990	828
Abril	1556	700	2470	684
Mayo	1586	700	2860	792
Junio	1616	700	2600	720

Fuente: Elaboración propia

Es necesario mencionar que se utilizó la Tabla 4.9 para poder determinar la capacidad regular y la capacidad de tiempo extra. Se tomó como capacidad regular una producción de 16 horas, lo que equivale a dos turnos. Se consideró que cada operario pueda realizar un tiempo extra de 2 horas, resultando en total por día 4 horas extras.

La cantidad de producción tanto en tiempo regular como extra entregada en la Tabla 4.21, se determinó gracias a los 130 y 36 filamentos respectivamente que se pueden producir en un día multiplicado por la cantidad de días de trabajo en cada uno de los meses pronosticados.

Por último, se procedió a resolver el método, el cual arrojó un costo total de \$151.500.020 pesos presentando el detalle del cálculo en Anexos.

Dicho esto, al comparar la estrategia planteada con anterioridad con el método de transporte, se tomó la decisión de considerar el plan del método de transporte para desagregarlo. Su discusión se presenta en el Capítulo 5.

#### **4.3.2. Programación maestra de la producción**

Para comenzar, se detalló el inventario que quedó en bodega al término del mes de junio para así estar en conocimiento de cuantas unidades de cada color se van a fabricar y cuándo se harán.

**Tabla 4.20 Inventario inicial al mes de Julio 2022**

Color	Cantidad
Amarillo	24
Azul	0
Blanco	171
Celeste	11
Natural	1
Negro	13
Rojo	35
Carmesí	27
Verde	60
Esmeralda	14

Fuente: Elaboración propia

Luego, se trabajó con la Tabla 4.6 para considerar la demanda por color de cada uno de los filamentos.

Como se mencionó en el punto anterior, Cicla 3D quiso sumar una cantidad adicional para afrontar el mes, con el propósito de poder cubrir alguna venta inesperada, una falla en producción, consumo



personal, entre otras cosas. Dicho detalle se presenta en la siguiente tabla y se consideró para la desagregación de la planificación agregada.

**Tabla 4.21 Ventas inesperadas y consumo empresarial por mes**

Color	Filamentos
Amarillo	50
Azul	50
Blanco	150
Celeste	50
Natural	50
Negro	150
Rojo	50
Carmesí	50
Verde	50
Esmeralda	50

Fuente: Elaboración propia

Así, fue posible determinar la demanda por color de cada uno de los filamentos la cual se puede apreciar en la Tabla 4.22.

**Tabla 4.22 Demanda por color considerando stock inicial y final**

	Amarillo	Azul	Blanco	Celeste	Natural	Negro	Rojo	Carmesí	Verde	Esmeralda	Total
jul-22	134	149	342	95	116	423	129	69	86	90	1633
ago-22	161	152	522	107	118	442	167	97	149	106	2021
sept-22	163	154	530	108	120	449	170	98	151	107	2050
oct-22	166	156	539	110	121	456	172	99	153	108	2080
nov-22	168	159	547	111	123	462	175	100	155	109	2109
dic-22	171	161	556	112	124	469	178	101	158	111	2141
ene-23	173	163	564	114	126	476	180	102	160	112	2170
feb-23	176	166	573	115	128	482	183	103	162	113	2201
mar-23	179	168	581	116	129	489	186	104	164	115	2231
abr-23	181	170	590	118	131	496	188	105	167	116	2262
may-23	184	173	598	119	132	502	191	106	169	117	2291
jun-23	186	175	607	120	134	509	194	107	171	118	2321

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que existe una restricción al momento de realizar la programación maestra de producción, puesto que se debe producir desde los colores más claros a los más oscuros por tema de lograr la estabilidad más rápido del color deseado, por lo que el orden ideal para producir se muestra en la Tabla 4.25.

**Tabla 4.23 Orden de producción**

1ro	Natural
2do	Blanco
3ro	Amarillo
4to	Celeste
5to	Verde
6to	Esmeralda
7mo	Azul
8vo	Rojo
9no	Carmesí
10mo	Negro

Fuente: Elaboración propia

En las Tablas 4.26, 4.27 y 4.28 se presenta la programación maestra basada en el plan agregado del método de transporte.

Tabla 4.24 Plan Maestro desde julio a octubre 2022

Mes	jul-22	ago-22	sept-22	oct-22	
Plan Agregado	1633	2021	2050	2080	
Días del mes	1	Natural (116)	Natural (118)	Natural (120)	x
	2	x	Blanco (130)	Blanco (130)	x
	3	x	Blanco (130)	x	Natural (120)
	4	Blanco (130)	Blanco (130)	x	Blanco (130)
	5	Blanco (130)	Blanco (130)	Blanco (130)	Blanco (130)
	6	Blanco (82)	x	Blanco (130)	Blanco (130)
	7	Amarillo (130)	x	Blanco (130)	Blanco (130)
	8	Celeste (95)	Amarillo (130)	Amarillo (130)	x
	9	x	Amarillo (31)	Amarillo (33)	x
	10	x	Celeste (107)	x	x
	11	Verde (86)	Verde (130)	x	Blanco (19) /Amarillo (36)
	12	Esmeralda (90)	Verde (19)	Celeste (108)	Amarillo (130)
	13	Azul (130)	x	Verde (130)	Celeste (110)
	14	Azul (19)	x	Verde (21)	Verde (130)
	15	Rojo (129)	x	Esmeralda (107)	x
	16	x	Esmeralda (106)	Azul (130)	x
	17	x	Azul (130)	Azul (24)	Verde (23) /Mantención
	18	Carmesí (69)	Azul (22)	x	Esmeralda (108)
	19	Negro (130)	Rojo (130)	x	Azul (130)
	20	Negro (130)	x	Rojo (130)	Azul (26) /Rojo (42)
	21	Negro (130)	x	Rojo (40)	Rojo (130)
	22	Negro (33)	Rojo (37)	Carmesí (98)	x
	23	x	Carmesí (97)	Negro (130)	x
	24	x	Negro (130)	x	Carmesí (99)
	25	Experimento	Negro (130)	x	Negro (130)
	26	Experimento	Negro (130)	Negro (130)	Negro (130)
	27	Experimento	x	Negro (130)	Negro (130)
	28	Experimento	x	Negro (59)	Negro (66)
	29	Mantención	Negro (52)	Experimento	x
	30	x	Experimento	Mantención	x
	31	x	Mantención	x	x

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4.25 Plan maestro desde noviembre 2022 a febrero 2023

Mes	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	
Plan Agregado	2109	2141	2170	2201	
Días del mes	1	x	Natural (124)	x	Natural (128)
	2	Natural (123)	Blanco (130)	Natural (126)	Blanco (130)
	3	Blanco (130)	x	Blanco (130)	Blanco (130)
	4	Blanco (130)	x	Blanco (130)	x
	5	x	Blanco (130)	Blanco (130)	x
	6	x	Blanco (130)	Blanco (130)	Blanco (130)
	7	Blanco (130)	Blanco (130)	x	Blanco (130)
	8	Blanco (130)	x	x	Blanco (53) /Amarillo (46)
	9	Blanco (27) /Amarillo (38)	Blanco (36) /Amarillo (41)	Blanco (44) /Amarillo (43)	Amarillo (130)
	10	Amarillo (130)	x	Amarillo (130)	Celeste (115)
	11	Celeste (111)	x	Celeste (114)	x
	12	x	Amarillo (130)	Verde (130)	x
	13	x	Celeste (112)	Verde (30)	Verde (130)
	14	Verde (130)	Verde (130)	x	Verde (32)
	15	Verde (25)	Verde (28)	x	Esmeralda (113)
	16	Esmeralda (109)	Esmeralda (111)	Esmeralda (112)	Azul (130)
	17	Azul (130)	x	Azul (130)	Azul (36) /Rojo (53)
	18	Azul (29) /Rojo (45)	x	Azul (33) /Rojo (50)	x
	19	x	Azul (130)	Rojo (130)	x
	20	x	Azul (31) /Rojo (48)	Carmesí (102)	Rojo (130)
	21	Rojo (130)	Rojo (130)	x	Carmesí (103)
	22	Carmesí (100)	Carmesí (101)	x	Negro (130)
	23	Negro (130)	Negro (130)	Negro (130)	Negro (130)
	24	Negro (130)	x	Negro (130)	Negro (130)
	25	Negro (130)	x	Negro (130)	x
	26	x	Negro (130)	Negro (86)	x
	27	x	Negro (130)	Experimento	Negro (92)
	28	Negro (72)	Negro (79)	x	Mantención
	29	Experimento	Experimento	x	x
	30	Mantención	Mantención	Experimento	x
	31	x	x	Mantención	x

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.26 Plan maestro desde marzo 2023 a junio 2023

Mes	mar-23	abr-23	may-23	jun-23	
Plan Agregado	2226	2256	2286	2316	
Días del mes	1	Natural (129)	x	x	Natural (130)
	2	Blanco (130)	x	Natural (130)	Blanco (130)
	3	Blanco (130)	Natural (130)	Blanco (130)	x
	4	x	Blanco (130)	Blanco (130)	x
	5	x	Blanco (130)	Blanco (130)	Blanco (130)
	6	Blanco (130)	Blanco (130)	x	Blanco (130)
	7	Blanco (130)	x	x	Blanco (130)
	8	Blanco (61)	x	Blanco (130)	Blanco (87)
	9	Amarillo (130)	x	Blanco (78)	Amarillo (130)
	10	Amarillo (49)	Blanco (130)	Amarillo (130)	x
	11	x	Blanco (70)	Amarillo (54)	x
	12	x	Amarillo (130)	Celeste (119)	Amarillo (56)
	13	Celeste (116)	Amarillo (51)	x	Celeste (120)
	14	Verde (130)	Celeste (118)	x	Verde (130)
	15	Verde (34)	x	Verde (130)	Verde (41) /Mantención
	16	Esmeralda (115)	x	Verde (39)	Esmeralda (118)
	17	Azul (130)	Verde (130)	Esmeralda (117)	x
	18	Azul (38) /Rojo (56)	Verde (37) /Mantención	Azul (130)	x
	19	x	Esmeralda (116)	Azul (43) /Rojo (61)	Azul (130)
	20	Rojo (130)	Azul (130)	x	Azul (45) /Rojo (64)
	21	Carmesí (104)	Azul (40) /Rojo (58)	x	x
	22	Negro (130)	Rojo (130)	Rojo (130)	Rojo (130)
	23	Negro (130)	x	Carmesí (106)	Carmesí (107)
	24	Negro (130)	Carmesí (105)	Negro (130)	x
	25	x	Negro (130)	Negro (130)	x
	26	x	Negro (130)	Negro (130)	x
	27	Negro (99)	Negro (130)	x	Negro (130)
	28	Experimentos	Negro (106)	x	Negro (130)
	29	Experimentos	x	Negro (112)	Negro (130)
	30	Experimentos	x	Experimento	Negro (119)
	31	Mantención	x	Mantención	x

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar, la planificación se encuentra hecha por día, en donde se ve el color y la cantidad a producir. En los días que no hay un color para producir, se decidió dejar la palabra Experimentos, con el objetivo de que aquellos días se produzcan colores distintos a los 10

contemplados en este estudio o producir más en caso de que sea necesario. Además, existen casillas que fueron rellenas con un “x”, esto por el hecho de que ese día es feriado o fin de semana. Por último, al término de cada mes o en algún día que haya poca producción, se realiza una mantención para lograr un correcto funcionamiento de la maquinaria.

Gracias a esta planificación maestra, es posible determinar la cantidad de materias primas a utilizar, lo cual será analizado en la sección 4.3.3.

#### 4.3.3. Planificación de requerimientos de materiales (MRP)

Para comenzar, es necesario mencionar que la producción de filamentos es muy similar de un color a otro, solo los diferencia la proporción de PLA y pigmentos de color. Dicha diferencia se encuentra en la Tabla 4.27 y está dada para producir 1kg de filamento.

**Tabla 4.27 Parámetros de producción**

Color del Filamento	Cantidad		Total [g]
	PLA [g]	Pigmento [g]	
Amarillo	980	20	1000
Azul	990	10	1000
Blanco	993	7	1000
Celeste	980	20	1000
Natural	1000	0	1000
Negro	995	5	1000
Rojo	990	10	1000
Carmesí	990	10	1000
Verde	980	20	1000
Esmeralda	990	10	1000

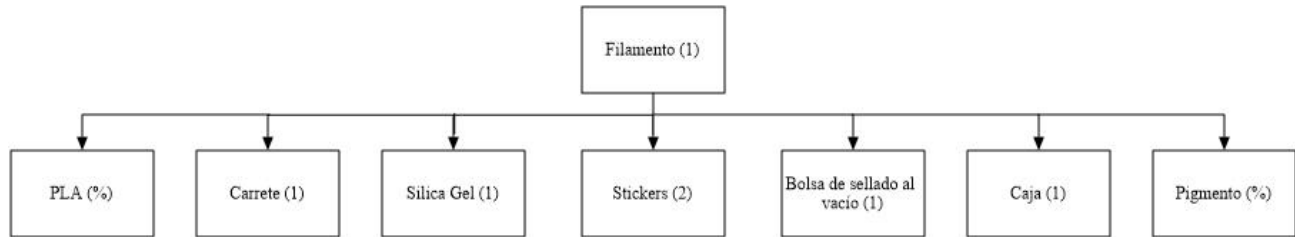
Fuente: Elaboración propia

Es necesario informar que cada uno de los pigmentos tiene un origen, el cual depende del proveedor, que puede ser chileno o chino. Los pigmentos que son de origen chileno son: Esmeralda, Carmesí, Azul, Negro y Blanco, el resto es chino.

Del mismo modo, además de considerar las cantidades de PLA y pigmentos, recordar que el producto final está constituido por:

- 1 carrete
- 1 silica gel 10gr.
- 2 stickers
- 1 bolsa de sellado al vacío

- Cajas chicas.



**Figura 4.3 Materiales para fabricar un filamento**

Fuente: Elaboración propia

Tanto el PLA, los pigmentos como las materias primas recién nombradas, cuentan con un tiempo de entrega y además de una cantidad necesaria para realizar el pedido.

El PLA es pedido en formatos de 1.250 kg y tarda una semana en llegar. Los pigmentos vienen en bolsas de 12 kg si su origen es de un proveedor chileno, sin embargo, si su origen es chino, tardan 2 meses y vienen en formato de 25 kg. Los carretes se piden de a 5.000 unidades y tardan en llegar un mes. El pedido de silica gel como mínimo es en cajas de 20 kg y solo se pueden pedir de ese tipo de cajas, las que sirven para 2.000 filamentos y tarda en llegar una semana. Los stickers se piden en 5000 unidades y tardan una semana. Las bolsas de sellado al vacío se piden cada 4.500 unidades y tardan una semana. Por último, las cajas chicas para almacenar el filamento el pedido mínimo consta de 2.500 unidades las cuales tardan un mes en llegar.

A continuación, se presenta la información sobre el inventario inicial de estas materias primas.

**Tabla 4.28 Inventario inicial de materias primas**

MP	Cantidad	Unidad de medida
Carretes	5000	uu
PLA	1250	kg
Stickers	5500	uu
Cajas	3600	uu
Silica Gel	2000	uu
Bolsa de sellado	4500	uu

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.29 Inventario inicial de pigmentos**

Pigmento	Cantidad (gr)
Amarillo	10480
Azul	12158
Blanco	2494
Celeste	32172
Negro	9854
Rojo	22403
Carmesí	16095
Verde	29751
Esmeralda	13864

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar que no se presenta el color natural en la Tabla 4.29, ya que este se fabrica sin pigmentos que le dan el color, solamente se utiliza PLA que le da su coloración de manera natural.

Por otro lado, es necesario mencionar que al área de producción de Cicla 3D se le informa de lo que se necesita hacer la semana previa a la que se necesitan los filamentos.

Gracias a lo mencionado anteriormente, fue posible determinar los requerimientos de materiales y las fechas en las cuales se deben hacer los pedidos para contar con todo lo necesario para suplir el pronóstico de demanda y los requerimientos de la empresa. Además, se presenta el inventario final al término del periodo calculado. El resumen de los resultados se presenta a continuación, su discusión en el capítulo siguiente y el detalle se expone en Anexo.



**Tabla 4.30 Requerimiento de materiales segundo semestre 2022**

jul-22	1	
	2	PLA (1.250 kg)
	3	
	4	Silica (20 kg) Cajas (2.500 uu) Blanco (12 kg)
ago-22	1	PLA (1.250 kg)
	2	Stickers (5.000 uu) Amarillo (25 kg)
	3	Carretes (5.000 uu)
	4	Silica (20 kg) PLA (1.250 kg)
sept-22	1	Bolsas (4.500 uu) Cajas (2.500 uu)
	2	PLA (1.250 kg)
	3	Stickers (5.000 uu)
	4	Silica (20 kg) PLA (1.250 kg)
oct-22	1	
	2	Cajas (2.500 uu)
	3	Stickers (5.000 uu) PLA (1.250 kg)
	4	Silica (20 kg) Blanco (12 kg)
nov-22	1	Carretes (5.000 uu) PLA (1.250 kg)
	2	Bolsas (4.500 uu)
	3	Cajas (2.500 uu) Negro (12 kg)
	4	Silica (20 kg) Stickers (5.000 uu) PLA (1.250 kg)
dic-22	1	
	2	PLA (1.250 kg)
	3	Silica (20 kg) Cajas (2.500 uu)
	4	PLA (1.250 kg)

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.31 Requerimiento de materiales primer semestre 2023**

ene-23	1	Carretes (5.000 uu) Stickers (5.000 uu)
	2	Bolsas (4.500 uu)
	3	Silica (20 kg) PLA (1.250 kg)
	4	Cajas (2.500 uu) Blanco (12 kg)
feb-23	1	Stickers (5.000 uu) PLA (1.250 kg)
	2	Azul (12 kg)
	3	Silica (20 kg) Verde (25 kg) PLA (1.250 kg)
	4	Cajas (2.500 uu)
mar-23	1	PLA (1.250 kg)
	2	Silica (20 kg) Stickers (5.000 uu) Bolsas (4.500 uu) Amarillo (25 kg)
	3	Carretes (5.000 uu)
	4	PLA (1.250 kg)
abr-23	1	Cajas (2.500 uu)
	2	Silica (20 kg) PLA (1.250 kg)
	3	Stickers (5.000 uu) Negro (12 kg)
	4	Blanco (12 kg) PLA (1.250 kg)
may-23	1	Cajas (2.500 uu)
	2	Silica (20 kg)
	3	Stickers (5.000 uu) Bolsas (4.500 uu) PLA (1.250 kg)
	4	Carretes (5.000 uu) PLA (1.250 kg)
jun-23	1	Silica (20 kg)
	2	Esmeralda (12 kg)
	3	PLA (1.250 kg)
	4	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.32 Inventario final de materias primas**

ítem	Inventario Final
Carrete	4.549 uu
Silica Gel	513 uu
Stickers	1166 uu
Bolsa de sellado	1513 uu
Caja	613 uu
Pigmento chileno	Blanco (3.844 g)   Esmeralda (11.134 g)   Azul (4.696 g)   Carmesí (4.184 g)   Negro (5.229g)
Pigmento chino	Amarillo (20.160g)   Celeste (5.270g)   Verde (17.851g)   Rojo (1.273g)
PLA	723.424g

Fuente: Elaboración propia

## 4.4. Modelo de optimización para la programación maestra de Cicla 3D

### 4.4.1. Modelo de Optimización

En esta sección se plantea un modelo de optimización (programación lineal) para el escenario probable de ventas de Cicla 3D con capacidad de producción de 650 RPM, el cual minimiza los costos asociados a la producción y operación de Cicla 3D. Se definen los conjuntos de índices, parámetros, variables de decisión, función objetivo y restricciones en base a (Salazar, 2020).

#### Conjuntos

Los conjuntos utilizados a lo largo del modelo matemático son los siguientes. Se presenta el nombre del elemento del conjunto y entre paréntesis el número que se le va a asociar.

$T$ : Conjunto de periodo en evaluación.  $t = [\text{jul-22 (1), ago-22 (2), sep-22 (3), oct-22 (4), nov-22 (5), dic-22 (6), ene-23 (7), feb-23 (8), mar-23 (9), abr-23 (10), may-23 (11), jun-23 (12)}$

$I$ : Conjunto de colores de filamentos.  $i = [\text{Amarillo (1), Azul (2), Blanco (3), Celeste (4), Natural (5), Negro (6), Rojo (7), Carmesí (8), Verde (9), Esmeralda (10)}$

$J$ : Conjunto de Horas trabajadas en un día.  $j = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]$

#### Parámetros

$cp$  = Costo de producción [\$/kg]

$ci$  = Costo de inventario [\$/kg]

$so$  = Costo de sueldo operario [\$/(\text{días}\*\text{operarios})]

$in_{oit}$  = Inventario inicial de filamento  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  [kg]

$l_t$  = Cantidad de días de producción en el periodo  $t \in T$  [días]

$d_{it}$  = Cantidad demandada de filamento  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  [kg]

$p_{it}$  = Cantidad de pigmentos en inventario del color  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  [kg]

$r_i$  = Proporción de pigmentos del color  $i \in I$  [kg]

$w_t$  = Cantidad de PLA en inventario en el periodo  $t \in T$  [kg]

$m_i$  = Proporción de PLA de filamento  $i \in I$  [kg]

$is_{it}$  = inventario final mínimo de filamento  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  [kg]

$cfmax_j$  = Cantidad máxima a de filamentos a producir en  $j \in J$  horas trabajadas [kg]

$n$  = Cantidad de operarios [operarios]

$ce_t$  = Cantidad de filamentos producidos en el tiempo experimental de  $t \in T$  [kg]

$cpla_t$  = Cantidad comprada de PLA en el periodo  $t \in T$  [kg]

$cpig_{it}$  = Cantidad comprada de Pigmentos en el periodo  $t \in T$  para el color  $i \in I$  [kg]

### Variables

Después de analizar y estudiar las posibles variables, se llegó a la conclusión que para este modelo se consideran las siguientes:

$X_{it}$  = Cantidad de producción del filamento  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  [kg]

$Y_{it}$  = Cantidad de inventario del filamento  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  [kg]

### Función objetivo

$$\min z: \left( \sum_{i=1}^I X_{it} + ce_t \right) * cp + \sum_{i=1}^I (Y_{it}) * ci + n * so * l_t \quad \forall t \in T \quad (4.4)$$

Como se mencionó anteriormente, la función principal del modelo es minimizar los costos, considerando costos de producción, costos de mantenimiento en inventario y costos de los operarios. Además, se incluye el costo de filamentos hechos en días de Experimento, los cuales se presentan aparte ya que se consideraron los 10 colores más vendidos que se pueden fabricar en todo momento por disponibilidad de materias primas, en contraste a los considerados en Experimentos.

### Restricciones

$$\frac{p_{it} + cpig_t}{r_i} \geq X_{it} \quad \forall t \in T \quad \forall i \in I \quad (4.5)$$

$$\frac{w_t + cpla_t}{\sum_{i=1}^I m_i} \geq \sum_{i=1}^I X_{it} \quad \forall t \in T \quad \forall i \in I \quad (4.6)$$

$$Y_{it} \geq is_{it} \quad \forall t \in T \quad \forall i \in I \quad (4.7)$$

$$X_{it} + in_{oit} + is_{it-1} \geq d_{it} + is_{it} \quad \forall t \in T \quad \forall i \in I \quad (4.8)$$

$$ce_t + \sum_{i=1}^I X_{it} \leq cfmax_j * l_t \quad \forall t \in T \quad \forall j \in J \quad (4.9)$$

$$X_{it}, Y_{it} \geq 0 \quad (4.10)$$

La restricción (4.5) indica que la cantidad en inventario de pigmentos  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  según la proporción que se ocupa para fabricar un filamento, debe ser mayor o igual a la producción del color en ese mismo periodo. Esto es válido para cualquier color en cualquier periodo de producción.

La restricción (4.6) indica que la cantidad de PLA en inventario en el periodo  $t \in T$  según la proporción que se ocupa para fabricar cada color de filamento  $i \in I$ , debe ser mayor o igual a la cantidad de kilos de filamentos que se produzcan para todo color  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$ .

La restricción (4.7) indica que la cantidad de inventario del filamento  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  debe cumplir con las especificaciones dada por la empresa, por lo que debe ser mayor o igual a el requerimiento mínimo de inventario del filamento  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$ . Esto es válido para todos los colores en todos los periodos de estudio.

La restricción (4.8) corresponde a la restricción de demanda, la cual indica que la demanda de filamentos  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  debe ser mayor o igual a la producción del filamento en el periodo en conjunto con el inventario inicial para el mes de junio 2022 más el inventario que sobró del periodo anterior al mes de análisis. Esto es válido para todo color de filamento  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$ .

La restricción (4.9) corresponde a la capacidad de producción, en donde la capacidad diaria máxima que se encuentra dada bajo las 650 RPM multiplicada por la cantidad de días de producción en el mes, debe ser mayor o igual a la suma de producción de todos los colores en cada uno de los periodos estudiados sumado a lo producido en tiempos experimentales en el periodo  $t \in T$ .

La restricción (4.10) indica que tanto la producción del color  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  como la cantidad de inventario del filamento  $i \in I$  en el periodo  $t \in T$  deben ser mayores o igual a cero, ya que es imposible para la organización presentar una producción negativa o un inventario negativo.

Considerando estos conjuntos, parámetros, restricciones y función objetivo es posible determinar el costo para cada uno de los escenarios planteados en 0 gracias al Solver de Excel.

#### **4.4.2. Aplicación en EXCEL del modelo**

Para comenzar, es necesario mencionar que el Solver de Excel es una herramienta útil de procesamiento rápido en el computador para someter cualquier escenario matemático a un análisis rápido con el fin de encontrar una solución óptima a fórmulas complicadas. Cuenta con la facilidad de poder introducir 200 variables como máximo las cuales se pueden encontrar sujetas a las restricciones deseadas (La Guía de Internet, 2022).

Dicho esto, dada su interfaz, el modelamiento se hizo bastante simple, ya que se presentaba un orden claro y definido sobre la información necesaria para resolver el problema. Además, cabe mencionar que para Cicla 3D puede resultar mucho más útil que cualquier otro programa, puesto que no se necesita incurrir en mayores desembolsos para su utilización y es una herramienta que se ocupa diariamente dentro de los procesos de la organización.

Una vez aplicado el Solver a parámetros, restricciones y función objetivo entregadas en el punto 4.4.1, fue posible determinar el mínimo costo posible para las variables entregadas por el modelo. El costo total anual de la planificación entregada por el Solver es de \$151.520.020. Cabe mencionar que, para determinar este costo, se utilizó como demanda el escenario probable sumado a una demanda extra de 700 filamentos que la organización deseaba para ventas inesperadas y consumo personal. Se utilizó como supuesto que estos filamentos en su totalidad eran consumidos mes tras mes por lo que no había mantenimiento de inventario con el paso del tiempo, tal cual como el método de transporte calculado en la sección 4.3.1. El resultado de las variables se encuentra en Anexo y el análisis del costo calculado se desarrolla en el capítulo siguiente.

Por otro lado, se realizó un análisis de sensibilidad con los escenarios restantes presentados en la sección 4.2, en donde también se trabajó con demanda extra deseada, pero tal cual como se realizó para determinar la demanda de aquellos escenarios, se disminuyó o aumentó en la misma proporción la demanda extra deseada por la organización. Es necesario mencionar que, para estos dos escenarios, al igual que el escenario probable, los filamentos serán consumidos en su totalidad sin dejar mantenimiento en inventario. Así, para el escenario pesimista y optimista el costo de planificación corresponde \$104.503.540 y \$201.733.432 pesos respectivamente, donde estos resultados se encuentran en Anexo y se presenta su análisis en el capítulo siguiente.

Para finalizar, a través del mismo modelo y Solver de Excel, se trabajó con los mismos escenarios, pero a diferencia de los puntos anteriores, los filamentos extra deseados por la organización no fueron

consumidos en el periodo. Así, el costo de la planificación para el escenario probable manteniendo 700 filamentos en inventario mes tras mes arrojó un costo de \$140.748.020. Con respecto al escenario pesimista, en el cual se mantuvieron 464 unidades en inventario, tiene un costo de planificación de \$97.376.500 pesos. Por último, el escenario optimista que mantenía 950 unidades en inventario obtuvo un costo de \$187.141.432 pesos. Estos resultados se presentan en Anexos y serán discutidos en el capítulo siguiente.

## Capítulo 5. Discusión

En capítulo de Estudio de mercado se ve claramente el potencial que esta industria tiene y el crecimiento que se pronostica para años futuros, en donde el papel de Cicla 3D va a ser fundamental, ya que es la única empresa nacional en fabricar este tipo de materiales para la impresión 3d.

Por otro lado, se reflejan las ventas históricas de Cicla 3D, las cuales, para efectos del estudio, se consideraron solamente aquellos filamentos con los cual la empresa cuenta con las materias primas necesarias para fabricar en cualquier instante, a diferencia del resto que generalmente se trata de pigmentos que son fabricados por ellos mismos, por lo que deben esperar la disponibilidad del proveedor para poder fabricar el resto de colores.

Esta consideración de colores abarca un 74,2% de las ventas históricas de la organización, donde gracias a su desglose, fue posible pronosticar la demanda a través de los mínimos cuadrados a un escenario de mediano plazo de 1 año. Esta proyección indicó una baja en la demanda de los filamentos considerados, la cual puede ser explicada por el hecho de que Cicla 3D es una organización nueva, inestable, además de los distintos sucesos que están ocurriendo en Chile, donde la incertidumbre del futuro se ha hecho presente y pesa en cada hogar de los chilenos. Otra razón que puede explicar esta disminución en la demanda, es que Cicla 3D durante los últimos meses del estudio centró sus esfuerzos en la creación de nuevos colores y materiales. Dado este decrecimiento de la proyección, se decidió utilizar un nuevo método para pronosticar la demanda, el fuera creciente y que concordara con los datos expuestos en el estudio de mercado, donde se espera que crezca la demanda un 25,8% anual.

Se determinó una capacidad productiva en base a un estudio realizado en el mismo espacio de producción de Cicla 3D. Se hicieron 10 mediciones en cada una de las 4 RPM más típicas de fabricación que permiten elaborar un filamento óptimo. Se consideró como máximo un turno de 20 horas diarias, ya que, en las otras 4 horas, la máquina debe estar enfriándose para el siguiente día de producción. Por último, cabe destacar que Cicla 3D cuenta con 2 operarios que pueden trabajar 8 horas cada uno durante el día por temas legales.

Gracias a la proyección de demanda y el detalle de colores que se puedo obtener, se realizó un modelo de planificación de producción. Inicialmente se realizaron 2 planes para la planificación agregada, los cuales se compararon y se optó por el método de transporte para su desagregación.

Cabe destacar que para estos planes se sumó la cantidad de 700 unidades de filamentos por el motivo de que, al conversar con la organización, estos deseaban una suma mayor a la pronosticada, ya que



son utilizadas para impresiones al interior de la organización o de ventas inesperadas que puedan surgir. Además, estos fueron consumidos en su totalidad sin dejar filamentos en inventario.

Inicialmente se desarrolló un método gráfico como estrategia de planificación, el cual se resolvió a través de una fuerza de trabajo fija con dos operarios, debido a que se necesitaba de una producción diaria de 104 unidades, lo que desencadenó mantener inventario de un mes a otro con tal de lograr la demanda proyectada. Este método obtuvo un costo de producción de \$197.624.100 pesos. Luego se realizó el método de transporte para dos operarios con posibilidad de realizar horas extras, las cuales no fueron utilizadas dado que la capacidad regular de producción era suficiente para suplir la demanda del periodo. Este método arrojó un costo de \$151.500.050. Claramente se puede observar que el método más económico para la organización resultó ser el del método de transporte, el cual abre paso a la planificación maestra gracias a su desagregación.

Para la programación de la producción maestra, se consideró el inventario inicial entregado por la organización, la cantidad adicional deseada por Cicla 3D para su consumo o alguna venta inesperada y el orden en el cual deben producirse los filamentos para evitar pérdidas o inestabilidad en el diámetro de producción de los filamentos, el cual debe cumplir con la especificación de 1.75 mm con un error de  $\pm 0.05$ . Además, se consideró el hecho de que, para poder pasar de un color a otro en términos de producción, es necesario que la maquinaria tenga un reposo de 4 horas, desencadenando en una producción de un color por día o dos en caso de que la producción sea muy baja. El resultado de la programación maestra arrojó una producción casi completa por mes, donde los días restantes se rellenaron con Experimentos y Mantención, las cuales están hechas para desarrollo e investigación de nuevos materiales, colores y ajustar limpiar la extrusora respectivamente. Cabe mencionar que existen cuadros rellenos con “x”, lo que indica que ese día no se trabaja por ser fin de semana o feriado.

Dado esta programación maestra, fue posible determinar un plan de requerimiento de materiales, en el cual se puede apreciar que el material más demandado, como era de esperarse es el PLA, ya que es el que está presente en todos los filamentos y es el que se ocupa en mayor proporción. Este debe ser pedido aproximadamente cada 2 semanas o cuando el valor restante en inventario esté cerca de los 700 kg. La silica gel debe pedirse cada 4 semanas aproximadamente, los stickers cada 5 semanas, las bolsas 5 veces en el año, los carretes 5 veces en el año y las cajas una vez al mes. Con respecto a los pigmentos que son comercializados en Chile, los únicos que se necesitan comprar dado el plan escogido, son blanco 4 veces en el año, negro dos veces, azul una vez al igual que el esmeralda. Para

los pigmentos comercializados en China, resultó necesario comprar amarillo dos veces y una vez verde. Este requerimiento de materiales concuerda totalmente con la demanda histórica y con la pronosticada, ya que el blanco, negro, amarillo y verde son los colores que más se comercializan y los filamentos con los que Cicla 3D desea tener para sus ventas inesperadas y necesidades propias.

Con respecto al modelo, este se trabajó con dos variables, las cuales dependen del tiempo y del color, y se utilizaron 6 restricciones, las que junto con los parámetros fueron capaces de minimizar el costo de producción y entregar el resultado óptimo de \$151.520.020 para el escenario probable. Este valor es el mismo que entrega lo planteado por el método de transporte, por lo que se trata de una solución óptima para el problema planteado.

Para los otros dos escenarios que se analizaron en el modelo, con consumo total de la demanda y sin mantenimiento de inventarios, resultó ser lo esperado, puesto que el pesimista presenta un costo menor al probable y el optimista un costo mayor, dónde la diferencia radica en los costos de producción de cada uno de los planes estudiados.

En la última parte de la sección 4.4.2 se desarrollaron los mismos escenarios en el Solver, pero esta vez sin consumir la cantidad deseada por la organización y manteniéndola en inventario, entregado así valores distintos que están marcados por el costo asociado de mantener 700, 464 y 950 filamentos en inventario para el escenario probable, pesimista y optimista respectivamente. Esto se realizó para visualizar que el modelo planteado en Excel sirve para determinar la producción mensual de cada uno de los colores y su inventario deseado para el mes.

## Capítulo 6. Conclusiones

Es claro que la impresión 3D es un mercado que recién está comenzando y que tiene una proyección prometedora, en dónde el saber anteponerse al futuro y tomar todas las precauciones resulta totalmente necesario para lograr un desarrollo óptimo y sustentable.

En este informe se presentaron objetivos para poder anteponerse a ese futuro, en dónde la planificación de la producción juega un rol fundamental en la administración de operaciones y en los costos de una empresa. Se presentaron herramientas útiles que servirán para Cicla 3D en su ordenamiento y en la minimización de sus costos a través de la producción y mantenimiento de inventarios.

Dentro de lo desarrollado en el presente informe, se establecieron ejemplos de mecanismos útiles para que la organización pueda desenvolverse. Se entregó información de su capacidad productiva y la forma en la cual pueden operar para cumplir con la demanda de sus productos, entregando la posibilidad de saber qué hacer durante todo un año y los espacios para poder crear nuevos productos que puedan tener impacto en el mercado.

Se entregó un modelo de programación lineal resuelto en el Solver de Excel, el cual se recomienda a Cicla 3D utilizar debido a que presenta la facilidad de poder variar los parámetros y entregar una solución óptima al modelo planteado. Se trata de una herramienta que es capaz de explicar de mejor forma lo deseado en los objetivos y el trasfondo de este documento.

Si bien el modelo es capaz de cumplir con lo propuesto, al entregarle esta utilidad a la organización, se espera que en trabajos futuros estos sean capaces de actualizar los datos de forma automática y no manual como se realizó con las compras de PLA y pigmentos, por ejemplo.

Para finalizar, durante este informe se trabajó para entregar una solución a la escasez de planificación de producción que presentaba Cicla 3D, entregando así un valor agregado con esta memoria de título a la organización a través de los diferentes métodos de planificación utilizados para el estudio.

## Capítulo 7. Referencias

- Consultora Markets and Markets . (2013). *El mercado de materiales para impresión 3D podría alcanzar los 408 millones de dólares en 2018*. Markets and Markets .
- Contreras, L. (2019). *¿Cómo está creciendo el mercado de los filamentos 3D?* 3Dnatives.
- Guillén, B. (2017). *La impresora 3D, un invento de los 80 que triunfa 30 años después*. OpenMind BBVA.
- Heizer, J. y. (2009). *Principios de administración de operaciones*. México: Pearson Educación.
- La Guía de Internet. (2022). *La Guía de Internet*. Obtenido de <https://elinternete.com/las-ventajas-de-excel-solver/>
- Pearson, A. (2022). *Historia de la impresión 3D*. Stratasys.
- Ruscitti, A. (Agosto 2015). *IMPRESION 3D, TECNOLOGÍA ABIERTA DE FABRICACIÓN DIGITAL*. Research Gate.
- Salazar, E. (2020). *Planificación y control de la producción - Apuntes de Clases*. Departamento de ingeniería industrial, Universidad de Concepción, Chile.
- Segura, J. I. (S.F.). *Una impresora 3D es un dispositivo capaz de reproducir un objeto sólido tridimensional mediante la adición de material*. SCRIBD.

## Capítulo 8. Anexo

		jul-22	ago-22	sept-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23	capacidad que no se usa	capacidad total
jul-22	inv. inicial	0	4200	8400	12600	16800	21000	25200	29400	33600	37800	42000	46200		356
	Tiempo regular	5480	9680	13880	18080	22280	26480	30680	34880	39080	43280	47480	51680		1629
	Horas extras	6302	10502	14702	18902	23102	27302	31502	35702	39902	44102	48302	52502	756	0
ago-22	Tiempo regular		5480	9680	13880	18080	22280	26480	30680	34880	39080	43280	47480		2015
	Horas extras		6302	10502	14702	18902	23102	27302	31502	35702	39902	44102	48302	792	0
sept-22	Tiempo regular			5480	9680	13880	18080	22280	26480	30680	34880	39080	43280		2045
	Horas extras			6302	10502	14702	18902	23102	27302	31502	35702	39902	44102	756	0
oct-22	Tiempo regular				5480	9680	13880	18080	22280	26480	30680	34880	39080		2075
	Horas extras				6302	10502	14702	18902	23102	27302	31502	35702	39902	684	0
nov-22	Tiempo regular					5480	9680	13880	18080	22280	26480	30680	34880		2105
	Horas extras					6302	10502	14702	18902	23102	27302	31502	35702	756	0
dic-22	Tiempo regular						5480	9680	13880	18080	22280	26480	30680		2135
	Horas extras						6302	10502	14702	18902	23102	27302	31502	756	0
ene-23	Tiempo regular							5480	9680	13880	18080	22280	26480		2165
	Horas extras							6302	10502	14702	18902	23102	27302	756	0
feb-23	Tiempo regular								5480	9680	13880	18080	22280		2196
	Horas extras								6302	10502	14702	18902	23102	720	0
mar-23	Tiempo regular									5480	9680	13880	18080		2226
	Horas extras									6302	10502	14702	18902	828	0
abr-23	Tiempo regular										5480	9680	13880		2256
	Horas extras										6302	10502	14702	684	0
may-23	Tiempo regular											5480	9680		2286
	Horas extras											6302	10502	792	0
jun-23	Tiempo regular												5480		2316
	Horas extras												6302	720	0
Total		1985	2015	2045	2075	2105	2135	2165	2196	2226	2256	2286	2316		25805

**Figura A.1 Método de transporte para dos operarios.**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla A.8.1 Cantidad de días de producción por color para la producción maestra**

	Amarillo	Azul	Blanco	Celeste	Natural	Negro	Rojo	Carmesí	Verde	Esmeralda
jul-22	1	1	2	0	0	3	0	0	0	0
ago-22	1	1	4	0	0	3	1	0	1	0
sept-22	1	1	4	0	0	3	1	0	1	0
oct-22	1	1	4	0	0	3	1	0	1	0
nov-22	1	1	4	0	0	3	1	0	1	0
dic-22	1	1	4	0	0	3	1	0	1	0
ene-23	1	1	4	0	0	3	1	0	1	0
feb-23	1	1	4	0	0	3	1	0	1	0
mar-23	1	1	4	0	0	3	1	0	1	0
abr-23	1	1	4	0	1	3	1	0	1	0
may-23	1	1	4	0	1	3	1	0	1	0
jun-23	1	1	4	0	1	3	1	0	1	0

Fuente: Elaboración propia

**Tabla A.8.2 Filamentos por color para la producción maestra**

	Amarillo	Azul	Blanco	Celeste	Natural	Negro	Rojo	Carmesí	Verde	Esmeralda
jul-22	4	19	82	95	116	33	129	69	86	90
ago-22	31	22	2	107	118	52	37	97	19	106
sept-22	33	24	10	108	120	59	40	98	21	107
oct-22	36	26	19	110	121	66	42	99	23	108
nov-22	38	29	27	111	123	72	45	100	25	109
dic-22	41	31	36	112	124	79	48	101	28	111
ene-23	43	33	44	114	126	86	50	102	30	112
feb-23	46	36	53	115	128	92	53	103	32	113
mar-23	49	38	61	116	129	99	56	104	34	115
abr-23	51	40	70	118	1	106	58	105	37	116
may-23	54	43	78	119	2	112	61	106	39	117
jun-23	56	45	87	120	4	119	64	107	41	118

Fuente: Elaboración propia

item		jun-22
Filamentos	necesidades bruta	
Lote	inventario (tabla)	Amarillo(24)Blanco(171)Celeste(11)Natural(1)Negro(13)Rojo(35)Carmesi(27)Verde(60)Esmeralda(14)
	necesidades netas	
	orden de produccion	Natural (116)Blanco (342)Amarillo (130)
Carrete (1)	necesidades bruta	
x5000	inventario (5000)	5000
	necesidades netas	
	orden de produccion	
Silica Gel (1)	necesidades bruta	
x2000	inventario (2000)	2000
	necesidades netas	
	orden de produccion	
Stickers (2)	necesidades bruta	
x5000	inventario (5500)	5500
	necesidades netas	
	orden de produccion	
Bolsa de sellado (1)	necesidades bruta	
x4500	inventario (4500)	4500
	necesidades netas	
	orden de produccion	
Caja (1)	necesidades bruta	
x2500	inventario (3600)	3600
	necesidades netas	
	orden de produccion	
Pigmento chileno	necesidades bruta	
x12000	inventario (tabla)	Blanco(2494)Esmeralda(13864)Azul(12158)Carmesi(16095)Negro(9854)
	necesidades netas	
	orden de produccion	
Pigmento chino	necesidades bruta	
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(10480)Celeste(32172)Verde(29751)Rojo(22403)
	necesidades netas	
	orden de produccion	
PLA	necesidades bruta	
x1250	inventario (1250000)	1250000
	necesidades netas	
	orden de produccion	

**Figura A.2 PRM mes de junio 2022**

Fuente: Elaboración propia

item		jul-22			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Natural (117)Blanco (613)Amarillo (154)	Celeste (106)Verde (146)Esmeralda (104)Azul (149)	Rojo (164)Carmesi (96)Negro (390)	Negro (46)
Lote	inventario (tabla)	Amarillo(24)Blanco(171)Celeste(11)Natural(1)Negro(13)Rojo(35)Carmesi(27)Verde(60)Esmeralda(14)	Celeste(11)Negro(13)Rojo(35)Carmesi(27)Verde(60)Esmeralda(14)	Negro(13)Rojo(35)Carmesi(27)	0
	necesidades netas	Natural (116)Blanco (342)Amarillo (130)	Celeste (95)Verde (86)Esmeralda (90)Azul (149)	Rojo (129)Carmesi (69)Negro (390)	Negro (33)
	orden de produccion	Celeste (95)Verde (86)Esmeralda (90)Azul (149)	Rojo (129)Carmesi (69)Negro (390)	Negro (33)	Natural (118)Blanco (520)
Carrete (1)	necesidades bruta	588	411	588	33
x5000	inventario (5000)	5000	4412	4001	3426
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Silica Gel (1)	necesidades bruta	588	411	588	33
x2000	inventario (2000)	2000	1412	1001	413
	necesidades netas				
	orden de produccion				2000
Stickers (2)	necesidades bruta	1176	822	1176	66
x5000	inventario (5500)	5500	4324	3502	2326
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Isa de sellado	necesidades bruta	588	411	588	33
x4500	inventario (4500)	4500	3912	3501	2913
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Caja (1)	necesidades bruta	588	411	588	33
x2500	inventario (3600)	3600	3012	2601	2013
	necesidades netas				
	orden de produccion				2500
igmento chilero	necesidades bruta	Blanco (2394)	Esmeralda (900) Azul (1490)	Carmesi(690) Negro(1950)	Negro(165)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(2494)Esmeralda(13864)Azul(12158)Carmesi(16095)Negro(9854)	Blanco(100)Esmeralda(13864)Azul(12158)Carmesi(16095)Negro(9854)	Blanco(100)Esmeralda(12964)Azul(10668)Carmesi(16095)Negro(9854)	Blanco(100)Esmeralda(12964)Azul(10668)Carmesi(15405)Negro(7904)

**Figura A.3 PRM mes de julio 2022**

Fuente: Elaboración propia

item		Agosto			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Natural (118)Blanco (520)	Amarillo (161)Celeste (107)Verde (149)	Esmeralda (106)Azul (152)Rojo (130)	Rojo (37)Carmesi (97)Negro (442)
Lote	inventario (tabla)	0	0	0	0
	necesidades netas	Natural (118)Blanco (520)	Amarillo (161)Celeste (107)Verde (149)	Esmeralda (106)Azul (152)Rojo (130)	Rojo (37)Carmesi (97)Negro (442)
	orden de produccion	Amarillo (161)Celeste (107)Verde (149)	Esmeralda (106)Azul (152)Rojo (130)	Rojo (37)Carmesi (97)Negro (442)	Natural (120)Blanco(520)
Carrete (1)	necesidades bruta	638	417	388	576
x5000	inventario (5000)	3426	2788	2371	1983
	necesidades netas				
	orden de produccion			5000	
Silica Gel (1)	necesidades bruta	638	417	388	576
x2000	inventario (2000)	380+2000	1742	1325	937
	necesidades netas	258			
	orden de produccion				2000
Stickers (2)	necesidades bruta	1276	834	776	1152
x5000	inventario (5500)	2260	984	150+5000	4374
	necesidades netas			626	
	orden de produccion		5000		
Isa de sellado	necesidades bruta	638	417	388	576
x4500	inventario (4500)	2880	2242	1825	1437
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Caja (1)	necesidades bruta	638	417	388	576
x2500	inventario (3600)	1980	1342	925	537+2500
	necesidades netas				39
	orden de produccion				
igmento chileno	necesidades bruta	Blanco(3640)		Esmeralda (1060) Azul (1520)	Carmesi (970) Negro (2210)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(100+12000)Esmeralda(12964)Azul(10668)Carmesi(15405)Negro(7739)	Blanco(8460)Esmeralda(12964)Azul(10668)Carmesi(15405)Negro(7739)	Blanco(8460)Esmeralda(12964)Azul(10668)Carmesi(15405)Negro(7739)	Blanco(8460)Esmeralda(11904)Azul(9148)Carmesi(15405)Negro(7739)
	necesidades netas	Blanco (3540)			
	orden de produccion				
Pigmento chino	necesidades bruta		Amarillo(3220) Celeste (2140) Verde(2980)	Rojo (1300)	Rojo (370)
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(7880)Celeste(30272)Verde(28031)Rojo(21113)	Amarillo(7880)Celeste(30272)Verde(28031)Rojo(21113)	Amarillo(4660)Celeste(28132)Verde(25051)Rojo(21113)	Amarillo(4660)Celeste(28132)Verde(25051)Rojo(19813)
	necesidades netas				
	orden de produccion		Amarillo(25000)		
PLA	necesidades bruta	634360	408660	384120	572450
x1250	inventario (1250000)	886099	251739+1250000	1093079	708959
	necesidades netas		156921		
	orden de produccion	1250000			1250000

Figura A.4 PRM mes de agosto 2022

Fuente: Elaboración propia



item		Septiembre			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Natural (120)Blanco(520)	Amarillo (166)Celeste (108)Verde (151)	Esmeralda (107)Azul (154)Rojo (170)	Carmesi (98)Negro (449)
Lote	inventario (tabla)	0	0	0	0
	necesidades netas	Natural (120)Blanco(520)	Amarillo (166)Celeste (108)Verde (151)	Esmeralda (107)Azul (154)Rojo (170)	Carmesi (98)Negro (449)
	orden de produccion	Amarillo (166)Celeste (108)Verde (151)	Esmeralda (107)Azul (154)Rojo (170)	Carmesi (98)Negro (449)	Blanco (520)Natural (120)
Carrete (1)	necesidades bruta	640	425	431	547
x5000	inventario (5000)	1407	767	342+5000	4911
	necesidades netas				89
	orden de produccion				
Silica Gel (1)	necesidades bruta	640	425	431	547
x2000	inventario (2000)	361+2000	1721	1296	865
	necesidades netas				279
	orden de produccion				2000
Stickers (2)	necesidades bruta	1280	850	862	1094
x5000	inventario (5500)	3222	1942	1092	230+5000
	necesidades netas				864
	orden de produccion				5000
Isa de sellado	necesidades bruta	640	425	431	547
x4500	inventario (4500)	861	221+4500	4296	3865
	necesidades netas				204
	orden de produccion				4500
Caja (1)	necesidades bruta	640	425	431	547
x2500	inventario (3600)	2461	1821	1396	965
	necesidades netas				2500
	orden de produccion				
Pigmento chileno	necesidades bruta	Blanco (3640)		Esmeralda (1070) Azul (1540)	Carmesi (980) Negro (2245)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(8460)Esmeralda(11904)Azul(9148)Carmesi(14435)Negro(5729)	Blanco(4820)Esmeralda(11904)Azul(9148)Carmesi(14435)Negro(5729)	Blanco(4820)Esmeralda(11904)Azul(9148)Carmesi(14435)Negro(5729)	Blanco(4820)Esmeralda(10834)Azul(7608)Carmesi(14435)Negro(5729)
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Pigmento chino	necesidades bruta		Amarillo (3320) Celeste (2160) Verde (3020)	Rojo (1700)	
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(4660)Celeste(28132)Verde(25051)Rojo(19443)	Amarillo(4660)Celeste(28132)Verde(25051)Rojo(19443)	Amarillo(1340)Celeste(25972)Verde(22031)Rojo(19443)	Amarillo(1340)Celeste(25972)Verde(22031)Rojo(17743)
	necesidades netas				
	orden de produccion				
PLA	necesidades bruta	636360	416500	426690	543775
x1250	inventario (1250000)	136509+1250000	750149	333649+1250000	1156959
	necesidades netas		499851		93041
	orden de produccion			1250000	1250000

Figura A.5 PRM mes de septiembre 2022

Fuente: Elaboración propia

item		Octubre			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Blanco (520)Natural (120)	Blanco (19)/Amarillo (166)Celeste (110)Verde (130)	Verde (23)Esmeralda (108)Azul (156)/Rojo (172)	Carmesí (99)Negro (456)
Lote	inventario (tabla)	0	0	0	0
	necesidades netas	Blanco (520)Natural (120)	Blanco (19)/Amarillo (166)Celeste (110)Verde (130)	Verde (23)Esmeralda (108)Azul (156)/Rojo (172)	Carmesí (99)Negro (456)
	orden de produccion	Blanco (19)/Amarillo (166)Celeste (110)Verde (130)	Verde (23)Esmeralda (108)Azul (156)/Rojo (172)	Carmesí (99)Negro (456)	Blanco (390)Natural (123)
Carrete (1)	necesidades bruta	640	425	459	555
x5000	inventario (5000)	4364	3724	3299	2840
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Silica Gel (1)	necesidades bruta	640	425	459	555
x2000	inventario (2000)	318+2000	1678	1253	794
	necesidades netas	322			
	orden de produccion				2000
Stickers (2)	necesidades bruta	1280	850	918	1110
x5000	inventario (5500)	4136	2856	2006	1088+5000
	necesidades netas				22
	orden de produccion			5000	
lisa de sellado	necesidades bruta	640	425	459	555
x4500	inventario (4500)	3318	2678	2253	1794
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Caja (1)	necesidades bruta	640	425	459	555
x2500	inventario (3600)	418+2500	2278	1853	1394
	necesidades netas	222			
	orden de produccion		2500		
pigmento chilen	necesidades bruta	Blanco (3640)	Blanco (133)	Esmeralda (1080) Azul (1560)	Carmesí (990)Negro (2280)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(4820)Esmeralda(10834)Azul(7608)Carmesí(13455)Negro(3484)	Blanco(1180)Esmeralda(10834)Azul(7608)Carmesí(13455)Negro(3484)	Blanco(1047)Esmeralda(10834)Azul(7608)Carmesí(13455)Negro(3484)	Blanco(1047)Esmeralda(9754)Azul(6048)Carmesí(13455)Negro(3484)
	necesidades netas				
	orden de produccion				Blanco(12000)
pigmento chin	necesidades bruta		Amarillo (3320) Celeste (2200) Verde (2600)	Verde (460) Rojo (1720)	
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(1340)Celeste(25972)Verde(22031)Rojo(17743)	Amarillo(1340+12000)Celeste(25972)Verde(22031)Rojo(17743)	Amarillo(23020)Celeste(23772)Verde(19431)Rojo(17743)	Amarillo(23020)Celeste(23772)Verde(18971)Rojo(16023)
	necesidades netas		Amarillo (1980)		
	orden de produccion				
PLA	necesidades bruta	636360	416747	454180	551730
x1250	inventario (1250000)	613184+1250000	1226824	810077	355897+1250000
	necesidades netas	23176			
	orden de produccion			1250000	195833

Figura A.6 PRM mes de octubre 2022

Fuente: Elaboración propia

item		Noviembre			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Blanco (390)Natural (123)	Blanco (157)/Amarillo (168)Celeste (111)Verde (130)	Verde (25)Esmeralda (109)Azul (159)/Rojo (175)	Carmesi (100)Negro (462)
Lote	inventario (tabla)	0	0	0	0
	necesidades netas	Blanco (390)Natural (123)	Blanco (157)/Amarillo (168)Celeste (111)Verde (130)	Verde (25)Esmeralda (109)Azul (159)/Rojo (175)	Carmesi (100)Negro (462)
	orden de produccion	Blanco (157)/Amarillo (168)Celeste (111)Verde (130)	Verde (25)Esmeralda (109)Azul (159)/Rojo (175)	Carmesi (100)Negro (462)	Natural (124)Blanco (520)
Carrete (1)	necesidades bruta	513	566	468	562
x5000	inventario (5000)	2285	1772	1206	738
	necesidades netas				
	orden de produccion	5000			
Silica Gel (1)	necesidades bruta	513	566	468	562
x2000	inventario (2000)	239+2000	1726	1160	692
	necesidades netas	274			
	orden de produccion				2000
Stickers (2)	necesidades bruta	1026	1132	936	1124
x5000	inventario (5500)	4978	3952	2820	1884
	necesidades netas				
	orden de produccion				5000
Placa de sellado	necesidades bruta	513	566	468	562
x4500	inventario (4500)	1239	726	160+4500	4192
	necesidades netas				
	orden de produccion		4500	308	
Caja (1)	necesidades bruta	513	566	468	562
x2500	inventario (3600)	839	326+2500	2260	1792
	necesidades netas		240		
	orden de produccion			2500	
Pigmento chiler	necesidades bruta	Blanco (2730)	Blanco (1099)	Esmeralda (1090) Azul (1590)	Carmesi (1000) Negro (2310)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(1047+12000)Esmeralda(9754)Azul(6048)Carmesi(12465)Negro(1204)	Blanco(10317)Esmeralda(9754)Azul(6048)Carmesi(12465)Negro(1204)	Blanco(8327)Esmeralda(9754)Azul(6048)Carmesi(12465)Negro(1204)	Blanco(8327)Esmeralda(8664)Azul(4458)Carmesi(12465)Negro(1204+12000)Negro(1106)
	necesidades netas	Blanco(1683)		Negro(12000)	
	orden de produccion				
Pigmento chin	necesidades bruta		Amarillo (3360) Celeste (2220) Verde (2600)	Verde (500) Rojo (1750)	
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(23020)Celeste(23772)Verde(18971)Rojo(16023)	Amarillo(23020)Celeste(23772)Verde(18971)Rojo(16023)	Amarillo(19660)Celeste(21552)Verde(16371)Rojo(16023)	Amarillo(19660)Celeste(21552)Verde(15871)Rojo(14273)
	necesidades netas				
	orden de produccion				
PLA	necesidades bruta	510270	556721	463070	558690
x1250	inventario (1250000)	1054167	543897+1250000	1237176	774106
	necesidades netas				
	orden de produccion	1250000	12824		1250000

Figura A.7 PRM mes de noviembre 2022

Fuente: Elaboración propia

item		Diciembre			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Natural (124)Blanco (520)	Blanco (36)/Amarillo (171)Celeste (112)Verde (130)	Verde (28)Esmeralda (111)Azul (161)/Rojo (178)	Carmesi (101)Negro (469)
Lote	inventario (tabla)	0	0	0	0
	necesidades netas	Natural (124)Blanco (520)	Blanco (36)/Amarillo (171)Celeste (112)Verde (130)	Verde (28)Esmeralda (111)Azul (161)/Rojo (178)	Carmesi (101)Negro (469)
	orden de produccion	Blanco (36)/Amarillo (171)Celeste (112)Verde (130)	Verde (28)Esmeralda (111)Azul (161)/Rojo (178)	Carmesi (101)Negro (469)	Blanco(520)Natural (126)
Carrete (1)	necesidades bruta	644	449	478	570
x5000	inventario (5000)	176+5000	4532	4083	3605
	necesidades netas	468			
	orden de produccion				
Silica Gel (1)	necesidades bruta	644	449	478	570
x2000	inventario (2000)	130+2000	1486	1037	559+2000
	necesidades netas	514			
	orden de produccion			2000	11
Stickers (2)	necesidades bruta	1288	898	956	1140
x5000	inventario (5500)	760+5000	4472	3574	2618
	necesidades netas	528			
	orden de produccion				
Isa de sellado	necesidades bruta	644	449	478	570
x4500	inventario (4500)	3630	2986	2537	2059
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Caja (1)	necesidades bruta	644	449	478	570
x2500	inventario (3600)	1230	586	137+2500	2159
	necesidades netas			341	
	orden de produccion			2500	
Pigmento chileno	necesidades bruta	Blanco (3640)	Blanco(252)	Esmeralda (1110) Azul (1610)	Carmesi (1010) Negro (2345)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(8327)Esmeralda(8664)Azul(4458)Carmesi(11465)Negro(10894)	Blanco(4687)Esmeralda(8664)Azul(4458)Carmesi(11465)Negro(10894)	Blanco(4435)Esmeralda(8664)Azul(4458)Carmesi(11465)Negro(10894)	Blanco(4435)Esmeralda(7554)Azul(2848)Carmesi(11465)Negro(10894)
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Pigmento chino	necesidades bruta		Amarillo (3420) Celeste(2240) Verde(2600)	Verde (560) Rojo (1780)	
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(19660)Celeste(21552)Verde(15871)Rojo(14273)	Amarillo(19660)Celeste(21552)Verde(15871)Rojo(14273)	Amarillo(16240)Celeste(19312)Verde(13271)Rojo(14273)	Amarillo(16240)Celeste(19312)Verde(12711)Rojo(12493)
	necesidades netas				
	orden de produccion				
PLA	necesidades bruta	640360	440488	472940	566645
x1250	inventario (1250000)	215416+1250000	825056	384568+1250000	1161628
	necesidades netas	424944		88372	
	orden de produccion		1250000		1250000

Figura A.8 PRM mes de diciembre 2022

Fuente: Elaboración propia

item		Enero				
		1	2	3		
Filamentos	necesidades bruta	Blanco(520)Natural (126)	Blanco (44)/Amarillo (173)Celeste (114)Verde (160)	Esmeralda (112)Azul (163)Rojo (180)Carmesi (102)	Negro (476)	
Lote	inventario (tabla)	0	0	0	0	0
	necesidades netas	Blanco(520)Natural (126)	Blanco (44)/Amarillo (173)Celeste (114)Verde (160)	Esmeralda (112)Azul (163)Rojo (180)Carmesi (102)	Negro (476)	
	orden de produccion	Blanco (44)/Amarillo (173)Celeste (114)Verde (160)	Esmeralda (112)Azul (163)Rojo (180)Carmesi (102)	Negro (476)	Natural (128)Blanco (520)	
Carrete (1)	necesidades bruta	646	488	557	476	
x5000	inventario (5000)	3035	2389	1901	1344	
	necesidades netas					
	orden de produccion		5000			
Silica Gel (1)	necesidades bruta	646	488	557	476	
x2000	inventario (2000)	1989	1343	855	298+2000	
	necesidades netas					178
	orden de produccion				2000	
Stickers (2)	necesidades bruta	1292	976	1114	952	
x5000	inventario (5500)	1478	186+5000	4210	3096	
	necesidades netas		790			
	orden de produccion	5000				
Isa de sellado	necesidades bruta	646	488	557	476	
x4500	inventario (4500)	1489	843	355+4500	4298	
	necesidades netas					202
	orden de produccion		4500			
Caja (1)	necesidades bruta	646	488	557	476	
x2500	inventario (3600)	1589	943	455+2500	2398	
	necesidades netas			102		
	orden de produccion					2500
pigmento chileno	necesidades bruta	Blanco (3640)	Blanco (308)	Esmeralda (1120) Azul (1630) Carmesi (1020)	Negro (2380)	
x12000	inventario (tabla)	Blanco(4435)Esmeralda(7554)Azul(2848)Carmesi(10455)Negro(8549)	Blanco(795)Esmeralda(7554)Azul(2848)Carmesi(10455)Negro(8549)	Blanco(487)Esmeralda(7554)Azul(2848)Carmesi(10455)Negro(8549)	Blanco(487)Esmeralda(6434)Azul(1218)Carmesi(9434)Negro(8549)	
	necesidades netas					
	orden de produccion				Blanco(12000)	
pigmento chino	necesidades bruta		Amarillo (3460) Celeste (2280) Verde (3200)	Rojo (1800)		
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(16240)Celeste(19312)Verde(12711)Rojo(12493)	Amarillo(16240)Celeste(19312)Verde(12711)Rojo(12493)	Amarillo(12780)Celeste(17032)Verde(9511)Rojo(10693)	Amarillo(12780)Celeste(17032)Verde(9511)Rojo(10693)	
	necesidades netas					
	orden de produccion					
PLA	necesidades bruta	642360	481752	551430	743620	
x1250	inventario (1250000)	594983+1250000	1202623	720871	169441+1250000	
	necesidades netas		47377			574179
	orden de produccion				1250000	

Figura A.9 PRM mes de enero 2023

Fuente: Elaboración propia

item		Febrero			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Natural (128)Blanco (520)	Blanco (53)Amarillo (176)Celeste (115)Verde (162)	Esmeralda (113)Azul (166)Rojo (183)Carmesí (103)	Negro (482)
Lote	inventario (tabla)	0	0	0	0
	necesidades netas	Natural (128)Blanco (520)	Blanco (53)Amarillo (176)Celeste (115)Verde (162)	Esmeralda (113)Azul (166)Rojo (183)Carmesí (103)	Negro (482)
	orden de producción	Blanco (53)Amarillo (176)Celeste (115)Verde (162)	Esmeralda (113)Azul (166)Rojo (183)Carmesí (103)	Negro (482)	Natural (129)Blanco (520)
Carrete (1)	necesidades bruta	648	506	565	482
x5000	inventario (5000)	868	220+5000	4714	4149
	necesidades netas			286	
	orden de producción				
Silica Gel (1)	necesidades bruta	648	506	565	482
x2000	inventario (2000)	1822	1174	668	103+2000
	necesidades netas				
	orden de producción			2000	379
Stickers (2)	necesidades bruta	1296	1012	1130	964
x5000	inventario (5500)	2144	848+5000	4836	3706
	necesidades netas		164		
	orden de producción	5000			
Isa de sellado	necesidades bruta	648	506	565	482
x4500	inventario (4500)	3822	3174	2668	2103
	necesidades netas				
	orden de producción				
Caja (1)	necesidades bruta	648	506	565	482
x2500	inventario (3600)	1922	1274	768	203+2500
	necesidades netas				279
	orden de producción				2500
Pigmento chileno	necesidades bruta	Blanco (3640)	Blanco (371)	Esmeralda (1130) Azul (1660) Carmesí (1030)	Negro (2410)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(487+12000)Esmeralda(6434)Azul(1218)Carmesí(9434)Negro(6169)	Blanco(8847)Esmeralda(6434)Azul(1218)Carmesí(9434)Negro(6169)	lanco(8476)Esmeralda(6434)Azul(1218+12000)Carmesí(9434)Negro(6169)	Blanco(8476)Esmeralda(5304)Azul(11556)Carmesí(8404)Negro(6169)
	necesidades netas	3153	Azul(12000)	Azul(444)	
	orden de producción				
Pigmento chino	necesidades bruta		Amarillo (3520) Celeste (2300) Verde (3240)	Rojo (1830)	
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(12780)Celeste(17032)Verde(9511)Rojo(10693)	Amarillo(12780)Celeste(17032)Verde(9511)Rojo(10693)	Amarillo(9260)Celeste(14732)Verde(6271)Rojo(10693)	Amarillo(9260)Celeste(14732)Verde(6271)Rojo(8863)
	necesidades netas				
	orden de producción			Verde(25000)	
PLA	necesidades bruta	644360	496569	599350	479590
x1250	inventario (1250000)	675821	31461+1250000	784892	225542+1250000
	necesidades netas				
	orden de producción	1250000	465108		254048
				1250000	

Figura A.10 PRM mes de febrero 2023

Fuente: Elaboración propia

item		Marzo			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Natural (129)Blanco (520)	Blanco (61)Amarillo (179)Celeste (116)Verde (130)	Verde (34)Esmeralda (115)Azul (168)Rojo (186)Carmesi (104)	Negro (489)
Lote	inventario (tabla)	0	0	0	0
	necesidades netas	Natural (129)Blanco (520)	Blanco (61)Amarillo (179)Celeste (116)Verde (130)	Verde (34)Esmeralda (115)Azul (168)Rojo (186)Carmesi (104)	Negro (489)
	orden de produccion	Blanco (61)Amarillo (179)Celeste (116)Verde (130)	Verde (34)Esmeralda (115)Azul (168)Rojo (186)Carmesi (104)	Negro (489)	Blanco (390)Natural (130)
Carrete (1)	necesidades bruta	649	486	607	489
x5000	inventario (5000)	3667	3018	2532	1925
	necesidades netas				
	orden de produccion			5000	
Silica Gel (1)	necesidades bruta	649	486	607	489
x2000	inventario (2000)	1621	972	486+2000	1879
	necesidades netas				121
	orden de produccion		2000		
Stickers (2)	necesidades bruta	1298	972	1214	978
x5000	inventario (5500)	2742	1444	472+5000	4258
	necesidades netas			742	
	orden de produccion		5000		
Isa de sellado	necesidades bruta	649	486	607	489
x4500	inventario (4500)	1621	972	486+4500	4379
	necesidades netas				121
	orden de produccion		4500		
Caja (1)	necesidades bruta	649	486	607	489
x2500	inventario (3600)	2221	1572	1086	479+2500
	necesidades netas				10
	orden de produccion				
Pigmento chileno	necesidades bruta	Blanco (3640)	Blanco (427)	Esmeralda (1150) Azul (1680) Carmesi (1040)	Negro (2445)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(8476)Esmeralda(5304)Azul(11556)Carmesi(8404)Negro(3759)	Blanco(4836)Esmeralda(5304)Azul(11556)Carmesi(8404)Negro(3759)	Blanco(4409)Esmeralda(5304)Azul(11556)Carmesi(8404)Negro(3759)	Blanco(4409)Esmeralda(4154)Azul(9876)Carmesi(7364)Negro(3759)
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Pigmento chino	necesidades bruta		Amarillo (3580) Celeste (2320) Verde (2600)	Verde (680) Rojo (1860)	
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(9260)Celeste(14732)Verde(6271)Rojo(8863)	Amarillo(9260)Celeste(14732)Verde(6271)Rojo(8863)	Amarillo(5680)Celeste(12412)Verde(3671)Rojo(8863)	Amarillo(5680)Celeste(12412)Verde(2991)Rojo(7003)
	necesidades netas				
	orden de produccion		Amarillo(25000)		
PLA	necesidades bruta	645360	477073	600590	485555
x1250	inventario (1250000)	995952	350592+1250000	1123519	522929
	necesidades netas				
	orden de produccion	1250000		126481	1250000

Figura A.11 PRM mes de marzo 2023

Fuente: Elaboración propia

item		Abril			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Blanco (390)Natural (130)	Blanco (200)Amarillo (181)Celeste (118)	Verde (167)Esmeralda (116)Azul (170)Rojo (58)	Rojo (130)Carmesi (105)Negro (496)
Lote	inventario (tabla)	0	0	0	0
	necesidades netas	Blanco (390)Natural (130)	Blanco (200)Amarillo (181)Celeste (118)	Verde (167)Esmeralda (116)Azul (170)Rojo (58)	Rojo (130)Carmesi (105)Negro (496)
	orden de produccion	Blanco (200)Amarillo (181)Celeste (118)	Verde (167)Esmeralda (116)Azul (170)Rojo (58)	Rojo (130)Carmesi (105)Negro (496)	Blanco (390)Natural (130)
Carrete (1)	necesidades bruta	520	499	511	731
x5000	inventario (5000)	1436	916	417+5000	4906
	necesidades netas				94
	orden de produccion				
Silica Gel (1)	necesidades bruta	520	499	511	731
x2000	inventario (2000)	1390	870	371+2000	1860
	necesidades netas				140
	orden de produccion		2000		
Stickers (2)	necesidades bruta	1040	998	1022	1462
x5000	inventario (5500)	3280	2240	1242	220+5000
	necesidades netas				1242
	orden de produccion				5000
Isa de sellado	necesidades bruta	520	499	511	731
x4500	inventario (4500)	3890	3370	2871	2360
	necesidades netas				
	orden de produccion				
Caja (1)	necesidades bruta	520	499	511	731
x2500	inventario (3600)	2490	1970	1471	960
	necesidades netas				
	orden de produccion	2500			
Pigmento chileno	necesidades bruta	Blanco (2730)	Blanco(1400)	Esmeralda (1670) Azul (1700)	Carmesi (1050) Negro (2980)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(4409)Esmeralda(4154)Azul(9876)Carmesi(7364)Negro(1314)	Blanco(1679)Esmeralda(4154)Azul(9876)Carmesi(7364)Negro(1314)	Blanco(279)Esmeralda(4154)Azul(9876)Carmesi(7364)Negro(1314)	Blanco(279)Esmeralda(2484)Azul(8176)Carmesi(7364)Negro(1314+12000)
	necesidades netas			Negro(12000)	Negro(1666)
	orden de produccion				Blanco(12000)
Pigmento chino	necesidades bruta		Amarillo (3620) Celeste (2360)	Verde (3340) Rojo (580)	Rojo (1300)
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(5680)Celeste(12412)Verde(2991)Rojo(7003)	Amarillo(5680)Celeste(12412)Verde(2991)Rojo(7003)	Amarillo(2060)Celeste(10050)Verde(2991+25000)Rojo(7003)	Amarillo(2060)Celeste(10050)Verde(24651)Rojo(6423)
	necesidades netas			Verde(349)	
	orden de produccion				
PLA	necesidades bruta	517270	491620	504220	729170
x1250	inventario (1250000)	37374+1250000	770104	278484+1250000	1024264
	necesidades netas	479896		225736	
	orden de produccion		1250000		1250000

Figura A.12 PRM mes de abril 2023

Fuente: Elaboración propia



item		Mayo			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Blanco (390)Natural (130)			
Lote	inventario (tabla)	0	Blanco (208)Amarillo (184)Celeste (119)	Verde (169)Esmeralda (117)Azul (173)Rojo (61)	Rojo (130)Carmesi (106)Negro (502)
	necesidades netas	Blanco (390)Natural (130)			
	orden de produccion	Blanco (208)Amarillo (184)Celeste (119)	Verde (169)Esmeralda (117)Azul (173)Rojo (61)	Verde (169)Esmeralda (117)Azul (173)Rojo (61)	Rojo (130)Carmesi (106)Negro (502)
Carrete (1)	necesidades bruta	520	511	520	738
x5000	inventario (5000)	4175	3655	3144	2624
	necesidades netas				
	orden de produccion				5000
Silica Gel (1)	necesidades bruta	520	511	520	738
x2000	inventario (2000)	1129	609	98+2000	1578
	necesidades netas			422	
	orden de produccion		2000		
Stickers (2)	necesidades bruta	1040	1022	1040	1476
x5000	inventario (5500)	3758	2718	1696	656+5000
	necesidades netas				820
	orden de produccion			5000	
Isa de sellado	necesidades bruta	520	511	520	738
x4500	inventario (4500)	1629	1109	598	75+4500
	necesidades netas				
	orden de produccion			4500	660
Caja (1)	necesidades bruta	520	511	520	738
x2500	inventario (3600)	229+2500	2209	1698	1178
	necesidades netas	291			
	orden de produccion	2500			
Pigmento chileno	necesidades bruta	Blanco (2730)	Blanco (1456)	Esmeralda (1170) Azul (1730)	Carmesi (1060) Negro (2510)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(279+12000)Esmeralda(2484)Azul(8176)Carmesi(6314)Negro(10334)	Blanco(9549)Esmeralda(2484)Azul(8176)Carmesi(6314)Negro(10334)	Blanco(8093)Esmeralda(2484)Azul(8176)Carmesi(6314)Negro(10334)	Blanco(8093)Esmeralda(314)Azul(6446)Carmesi(6314)Negro(10334)
	necesidades netas	Blanco(2451)			
	orden de produccion				
Pigmento chino	necesidades bruta		Amarillo (3680) Celeste (2380)	Verde (3380) Rojo (610)	Rojo (1300)
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(2060)Celeste(10050)Verde(24651)Rojo(5123)	Amarillo(2060+25000)Celeste(10050)Verde(24651)Rojo(5123)	Amarillo(23880)Celeste(7670)Verde(24651)Rojo(5123)	Amarillo(23880)Celeste(7670)Verde(21271)Rojo(4513)
	necesidades netas		Amarillo(1620)		
	orden de produccion				
PLA	necesidades bruta	517270	503484	513110	733130
x1250	inventario (1250000)	295094+1250000	1027824	524340	11230+1250000
	necesidades netas				
	orden de produccion	222176		1250000	721900
					1250000

**Figura A.13 PRM mes de mayo 2023**

Fuente: Elaboración propia

item		Junio			
		1	2	3	4
Filamentos	necesidades bruta	Natural (130)Blanco (520)	Blanco (87)Amarillo (186)Celeste (120)Verde (130)	Verde (41)Esmeralda (118)Azul (175)Rojo (64)	Rojo (130)Carmesí (107)Negro (519)
Lote	inventario (tabla)	0	0	0	0
	necesidades netas	Natural (130)Blanco (520)	Blanco (87)Amarillo (186)Celeste (120)Verde (130)	Verde (41)Esmeralda (118)Azul (175)Rojo (64)	Rojo (130)Carmesí (107)Negro (519)
	orden de producción	Blanco (87)Amarillo (186)Celeste (120)Verde (130)	Verde (41)Esmeralda (118)Azul (175)Rojo (64)	Rojo (130)Carmesí (107)Negro (519)	
Carrete (1)	necesidades bruta	650	523	398	756
x5000	inventario (5000)	1886	1236	713	315+5000
	necesidades netas				
	orden de producción				441
Silica Gel (1)	necesidades bruta	650	523	398	756
x2000	inventario (2000)	840	190+2000	1667	1269
	necesidades netas			333	
	orden de producción	2000			
Stickers (2)	necesidades bruta	1300	1046	796	1512
x5000	inventario (5500)	5820	4520	3474	2678
	necesidades netas				
	orden de producción				
Isa de sellado	necesidades bruta	650	523	398	756
x4500	inventario (4500)	3840	3190	2667	2269
	necesidades netas				
	orden de producción				
Caja (1)	necesidades bruta	650	523	398	756
x2500	inventario (3600)	440+2500	2290	1767	1369
	necesidades netas	210			
	orden de producción				
Pigmento chileno	necesidades bruta	Blanco (3640)	Blanco (609)	Esmeralda (1180) Azul (1750)	Carmesí (1070) Negro (2595)
x12000	inventario (tabla)	Blanco(8093)Esmeralda(314)Azul(6446)Carmesí(5254)Negro(7824)	Blanco(4453)Esmeralda(314)Azul(6446)Carmesí(5254)Negro(7824)	Blanco(3844)Esmeralda(314+12000)Azul(6446)Carmesí(5254)Negro(7824)	Blanco(3844)Esmeralda(11134)Azul(4696)Carmesí(5254)Negro(7824)
	necesidades netas			Esmeralda(866)	
	orden de producción		Esmeralda(12000)		
Pigmento chino	necesidades bruta		Amarillo (3720) Celeste (2400) Verde (2600)	Verde (820) Rojo (640)	Rojo (1300)
x25000	inventario (tabla)	Amarillo(23880)Celeste(7670)Verde(21271)Rojo(3213)	Amarillo(23880)Celeste(7670)Verde(21271)Rojo(3213)	Amarillo(20160)Celeste(5270)Verde(18671)Rojo(3213)	Amarillo(20160)Celeste(5270)Verde(17851)Rojo(2573)
	necesidades netas				
	orden de producción				
PLA	necesidades bruta	646360	513671	393610	751035
x1250	inventario (1250000)	528100+1250000	1131740	618069	224459+1250000
	necesidades netas	118260			
	orden de producción			1250000	526576

Figura A.14 PRM mes de junio 2023

Fuente: Elaboración propia

	jul-22	ago-22	sept-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23
XAmarillo	134	160	163	165	168	170	173	176	178	181	183	186
XAzul	149	151	154	156	158	161	163	165	168	170	172	174
XBlanco	342	521	530	538	547	555	564	572	581	589	598	606
XCeleste	94	107	108	109	111	112	113	115	116	117	118	120
XNatural	115	118	119	121	122	124	125	127	129	130	132	133
XNegro	422	442	448	455	462	468	475	482	489	495	502	509
XRojo	129	166	169	172	174	177	180	182	185	188	190	193
XCarmesí	68	96	97	98	99	100	101	102	103	105	106	107
XVerde	86	148	150	153	155	157	159	162	164	166	168	171
XEsmeralda	90	105	106	108	109	110	111	113	114	115	117	118
YAmarillo												
YAzul												
YBlanco												
YCeleste												
YNatural												
YNegro												
YRojo												
YCarmesí												
YVerde												
YEsmeralda												
CostoAmarillo	\$ 733.638	\$ 878.959	\$ 892.760	\$ 906.562	\$ 920.363	\$ 934.164	\$ 947.966	\$ 962.227	\$ 976.028	\$ 989.830	\$ 1.003.631	\$ 1.017.432
CostoAzul	\$ 816.494	\$ 829.159	\$ 841.825	\$ 854.490	\$ 867.155	\$ 879.820	\$ 892.486	\$ 905.573	\$ 918.238	\$ 930.903	\$ 943.569	\$ 956.234
CostoBlanco	\$ 1.873.266	\$ 2.856.766	\$ 2.903.187	\$ 2.949.607	\$ 2.996.028	\$ 3.042.448	\$ 3.088.869	\$ 3.136.836	\$ 3.183.257	\$ 3.229.678	\$ 3.276.098	\$ 3.322.519
CostoCeleste	\$ 517.352	\$ 584.721	\$ 591.810	\$ 598.898	\$ 605.987	\$ 613.076	\$ 620.164	\$ 627.489	\$ 634.578	\$ 641.667	\$ 648.755	\$ 655.844
CostoNatural	\$ 631.097	\$ 645.041	\$ 653.506	\$ 661.971	\$ 670.436	\$ 678.901	\$ 687.366	\$ 696.113	\$ 704.577	\$ 713.042	\$ 721.507	\$ 729.972
CostoNegro	\$ 2.313.472	\$ 2.421.196	\$ 2.457.679	\$ 2.494.163	\$ 2.530.646	\$ 2.567.130	\$ 2.603.613	\$ 2.641.313	\$ 2.677.797	\$ 2.714.280	\$ 2.750.764	\$ 2.787.247
CostoRojo	\$ 705.571	\$ 911.925	\$ 926.478	\$ 941.032	\$ 955.585	\$ 970.138	\$ 984.692	\$ 999.730	\$ 1.014.284	\$ 1.028.837	\$ 1.043.391	\$ 1.057.944
CostoCarmesí	\$ 372.784	\$ 526.505	\$ 532.265	\$ 538.026	\$ 543.786	\$ 549.547	\$ 555.307	\$ 561.260	\$ 567.021	\$ 572.781	\$ 578.542	\$ 584.302
CostoVerde	\$ 470.559	\$ 811.624	\$ 823.890	\$ 836.155	\$ 848.420	\$ 860.685	\$ 872.950	\$ 885.624	\$ 897.890	\$ 910.155	\$ 922.420	\$ 934.685
CostoEsmeralda	\$ 492.687	\$ 576.304	\$ 583.201	\$ 590.097	\$ 596.994	\$ 603.891	\$ 610.787	\$ 617.914	\$ 624.811	\$ 631.707	\$ 638.604	\$ 645.501
Costo mano de obra	\$ 1.011.318	\$ 1.059.476	\$ 1.011.318	\$ 915.002	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 963.160	\$ 1.107.634	\$ 915.002	\$ 1.059.476	\$ 963.160
COSTO TOTAL mensual	\$ 9.938.238	\$ 12.101.676	\$ 12.217.918	\$ 12.286.002	\$ 12.546.718	\$ 12.711.118	\$ 12.875.518	\$ 12.997.240	\$ 13.306.114	\$ 13.277.882	\$ 13.586.756	\$ 13.654.840
Costo anual	\$ 151.500.020											

**Figura A.15 Variables y costos entregados por el Solver para el escenario probable sin inventario**

Fuente: Elaboración propia

	jul-22	ago-22	sept-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23
XAmarillo	81	107	109	110	112	114	115	117	119	121	122	124
XAzul	99	101	103	104	106	107	109	110	112	113	115	116
XBlanco	171	348	354	359	365	371	376	382	388	393	399	405
XCeleste	59	71	72	73	74	75	76	77	77	78	79	80
XNatural	77	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
XNegro	278	295	299	304	308	313	317	322	326	331	335	340
XRojo	74	111	113	115	116	118	120	122	124	125	127	129
XCarmesí	37	64	65	66	66	67	68	68	69	70	71	71
XVerde	37	99	100	102	103	105	106	108	109	111	112	114
XEsmeralda	55	70	71	72	73	74	74	75	76	77	78	79
YAmarillo												
YAzul												
YBlanco												
YCeleste												
YNatural												
YNegro												
YRojo												
YCarmesí												
YVerde												
YEsmeralda												
CostoAmarillo	\$ 443.880	\$ 586.360	\$ 597.320	\$ 602.800	\$ 613.760	\$ 624.720	\$ 630.200	\$ 641.160	\$ 652.120	\$ 663.080	\$ 668.560	\$ 679.520
CostoAzul	\$ 542.520	\$ 553.480	\$ 564.440	\$ 569.920	\$ 580.880	\$ 586.360	\$ 597.320	\$ 602.800	\$ 613.760	\$ 619.240	\$ 630.200	\$ 635.680
CostoBlanco	\$ 937.080	\$ 1.907.040	\$ 1.939.920	\$ 1.967.320	\$ 2.000.200	\$ 2.033.080	\$ 2.060.480	\$ 2.093.360	\$ 2.126.240	\$ 2.153.640	\$ 2.186.520	\$ 2.219.400
CostoCeleste	\$ 323.320	\$ 389.080	\$ 394.560	\$ 400.040	\$ 405.520	\$ 411.000	\$ 416.480	\$ 421.960	\$ 421.960	\$ 427.440	\$ 432.920	\$ 438.400
CostoNatural	\$ 421.960	\$ 432.920	\$ 438.400	\$ 443.880	\$ 449.360	\$ 454.840	\$ 460.320	\$ 465.800	\$ 471.280	\$ 476.760	\$ 482.240	\$ 487.720
CostoNegro	\$ 1.523.440	\$ 1.616.600	\$ 1.638.520	\$ 1.665.920	\$ 1.687.840	\$ 1.715.240	\$ 1.737.160	\$ 1.764.560	\$ 1.786.480	\$ 1.813.880	\$ 1.835.800	\$ 1.863.200
CostoRojo	\$ 405.520	\$ 608.280	\$ 619.240	\$ 630.200	\$ 635.680	\$ 646.640	\$ 657.600	\$ 668.560	\$ 679.520	\$ 685.000	\$ 695.960	\$ 706.920
CostoCarmesí	\$ 202.760	\$ 350.720	\$ 356.200	\$ 361.680	\$ 361.680	\$ 367.160	\$ 372.640	\$ 372.640	\$ 378.120	\$ 383.600	\$ 389.080	\$ 389.080
CostoVerde	\$ 202.760	\$ 542.520	\$ 548.000	\$ 558.960	\$ 564.440	\$ 575.400	\$ 580.880	\$ 591.840	\$ 597.320	\$ 608.280	\$ 613.760	\$ 624.720
CostoEsmeralda	\$ 301.400	\$ 383.600	\$ 389.080	\$ 394.560	\$ 400.040	\$ 405.520	\$ 405.520	\$ 411.000	\$ 416.480	\$ 421.960	\$ 427.440	\$ 432.920
Costo mano de obra	\$ 1.011.318	\$ 1.059.476	\$ 1.011.318	\$ 915.002	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 963.160	\$ 1.107.634	\$ 915.002	\$ 1.059.476	\$ 963.160
COSTO TOTAL mensual	\$ 6.315.958	\$ 8.430.076	\$ 8.496.998	\$ 8.510.282	\$ 8.710.718	\$ 8.831.278	\$ 8.929.918	\$ 8.996.840	\$ 9.250.914	\$ 9.167.882	\$ 9.421.956	\$ 9.440.720
Costo anual	\$ 104.503.540											

**Figura A.16 Variables y costos entregados por el Solver para escenario pesimista sin inventario**

Fuente: Elaboración propia

	jul-22	ago-22	sept-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23
XAmarillo	190	218	221	224	228	231	235	238	241	245	248	252
XAzul	202	205	208	212	215	218	221	224	227	230	233	237
XBlanco	522	705	716	728	739	751	762	774	785	797	808	820
XCeleste	132	145	147	149	150	152	154	156	157	159	161	163
XNatural	156	160	162	164	166	168	170	172	175	177	179	181
XNegro	575	597	606	615	624	633	642	652	661	670	679	688
XRojos	187	226	229	233	236	240	244	247	251	254	258	262
XCarmesí	102	131	132	134	135	136	138	139	141	142	144	145
XVerde	137	201	204	207	210	213	216	219	222	225	228	231
XEsmeralda	127	143	145	146	148	150	151	153	155	157	158	160
YAmarillo												
YAzul												
YBlanco												
YCeleste												
YNatural												
YNegro												
YRojos												
YCarmesí												
YVerde												
YEsmeralda												
CostoAmarillo	\$ 1.039.183	\$ 1.194.640	\$ 1.211.080	\$ 1.227.520	\$ 1.249.440	\$ 1.265.880	\$ 1.287.800	\$ 1.304.240	\$ 1.320.680	\$ 1.342.600	\$ 1.359.040	\$ 1.380.960
CostoAzul	\$ 1.105.007	\$ 1.123.400	\$ 1.139.840	\$ 1.161.760	\$ 1.178.200	\$ 1.194.640	\$ 1.211.080	\$ 1.227.520	\$ 1.243.960	\$ 1.260.400	\$ 1.276.840	\$ 1.298.760
CostoBlanco	\$ 2.859.626	\$ 3.863.400	\$ 3.923.680	\$ 3.989.440	\$ 4.049.720	\$ 4.115.480	\$ 4.175.760	\$ 4.241.520	\$ 4.301.800	\$ 4.367.560	\$ 4.427.840	\$ 4.493.600
CostoCeleste	\$ 723.360	\$ 794.600	\$ 805.560	\$ 816.520	\$ 822.000	\$ 832.960	\$ 843.920	\$ 854.880	\$ 860.360	\$ 871.320	\$ 882.280	\$ 893.240
CostoNatural	\$ 854.880	\$ 876.800	\$ 887.760	\$ 898.720	\$ 909.680	\$ 920.640	\$ 931.600	\$ 942.560	\$ 959.000	\$ 969.960	\$ 980.920	\$ 991.880
CostoNegro	\$ 3.151.000	\$ 3.271.560	\$ 3.320.880	\$ 3.370.200	\$ 3.419.520	\$ 3.468.840	\$ 3.518.160	\$ 3.572.960	\$ 3.622.280	\$ 3.671.600	\$ 3.720.920	\$ 3.770.240
CostoRojos	\$ 1.024.760	\$ 1.238.480	\$ 1.254.920	\$ 1.276.840	\$ 1.293.280	\$ 1.315.200	\$ 1.337.120	\$ 1.353.560	\$ 1.375.480	\$ 1.391.920	\$ 1.413.840	\$ 1.435.760
CostoCarmesí	\$ 558.960	\$ 717.880	\$ 723.360	\$ 734.320	\$ 739.800	\$ 745.280	\$ 756.240	\$ 761.720	\$ 772.680	\$ 778.160	\$ 789.120	\$ 794.600
CostoVerde	\$ 750.760	\$ 1.101.480	\$ 1.117.920	\$ 1.134.360	\$ 1.150.800	\$ 1.167.240	\$ 1.183.680	\$ 1.200.120	\$ 1.216.560	\$ 1.233.000	\$ 1.249.440	\$ 1.265.880
CostoEsmeralda	\$ 695.960	\$ 783.640	\$ 794.600	\$ 800.080	\$ 811.040	\$ 822.000	\$ 827.480	\$ 838.440	\$ 849.400	\$ 860.360	\$ 865.840	\$ 876.800
Costo mano de obra	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318
COSTO TOTAL mensual	\$ 13.774.814	\$ 15.977.198	\$ 16.190.918	\$ 16.421.078	\$ 16.634.798	\$ 16.859.478	\$ 17.084.158	\$ 17.308.838	\$ 17.533.518	\$ 17.758.198	\$ 17.977.398	\$ 18.213.038
Costo anual	\$ 201.733.432											

**Figura A.17 Variables y costos entregados por el Solver para escenario optimista sin inventario**

Fuente: Elaboración propia

	jul-22	ago-22	sept-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23
XAmarillo	84	110	113	115	118	120	123	126	128	131	133	136
XAzul	99	101	104	106	108	111	113	115	118	120	122	124
XBlanco	192	371	380	388	397	405	414	422	431	439	448	456
XCeleste	44	57	58	59	61	62	63	65	66	67	68	70
XNatural	65	68	69	71	72	74	75	77	79	80	82	83
XNegro	272	292	298	305	312	318	325	332	339	345	352	359
XRojo	79	116	119	122	124	127	130	132	135	138	140	143
XCarmesi	18	46	47	48	49	50	51	52	53	55	56	57
XVerde	36	98	100	103	105	107	109	112	114	116	118	121
XEsmeralda	40	55	56	58	59	60	61	63	64	65	67	68
YAmarillo	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
YAzul	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
YBlanco	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
YCeleste	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
YNatural	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
YNegro	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
YRojo	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
YCarmesi	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
YVerde	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
YEsmeralda	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
CostoAmarillo	\$ 669.638	\$ 814.959	\$ 828.760	\$ 842.562	\$ 856.363	\$ 870.164	\$ 883.966	\$ 898.227	\$ 912.028	\$ 925.830	\$ 939.631	\$ 953.432
CostoAzul	\$ 752.494	\$ 765.159	\$ 777.825	\$ 790.490	\$ 803.155	\$ 815.820	\$ 828.486	\$ 841.573	\$ 854.238	\$ 866.903	\$ 879.569	\$ 892.234
CostoBlanco	\$ 1.681.266	\$ 2.664.766	\$ 2.711.187	\$ 2.757.607	\$ 2.804.028	\$ 2.850.448	\$ 2.896.869	\$ 2.944.836	\$ 2.991.257	\$ 3.037.678	\$ 3.084.098	\$ 3.130.519
CostoCeleste	\$ 453.352	\$ 520.721	\$ 527.810	\$ 534.898	\$ 541.987	\$ 549.076	\$ 556.164	\$ 563.489	\$ 570.578	\$ 577.667	\$ 584.755	\$ 591.844
CostoNatural	\$ 567.097	\$ 581.041	\$ 589.506	\$ 597.971	\$ 606.436	\$ 614.901	\$ 623.366	\$ 632.113	\$ 640.577	\$ 649.042	\$ 657.507	\$ 665.972
CostoNegro	\$ 2.121.472	\$ 2.229.196	\$ 2.265.679	\$ 2.302.163	\$ 2.338.646	\$ 2.375.130	\$ 2.411.613	\$ 2.449.313	\$ 2.485.797	\$ 2.522.280	\$ 2.558.764	\$ 2.595.247
CostoRojo	\$ 641.571	\$ 847.925	\$ 862.478	\$ 877.032	\$ 891.585	\$ 906.138	\$ 920.692	\$ 935.730	\$ 950.284	\$ 964.837	\$ 979.391	\$ 993.944
CostoCarmesi	\$ 308.784	\$ 462.505	\$ 468.265	\$ 474.026	\$ 479.786	\$ 485.547	\$ 491.307	\$ 497.260	\$ 503.021	\$ 508.781	\$ 514.542	\$ 520.302
CostoVerde	\$ 406.559	\$ 747.624	\$ 759.890	\$ 772.155	\$ 784.420	\$ 796.685	\$ 808.950	\$ 821.624	\$ 833.890	\$ 846.155	\$ 858.420	\$ 870.685
CostoEsmeralda	\$ 428.687	\$ 512.304	\$ 519.201	\$ 526.097	\$ 532.994	\$ 539.891	\$ 546.787	\$ 553.914	\$ 560.811	\$ 567.707	\$ 574.604	\$ 581.501
Costo mano de obra	\$ 1.011.318	\$ 1.059.476	\$ 1.011.318	\$ 915.002	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 963.160	\$ 1.107.634	\$ 915.002	\$ 1.059.476	\$ 963.160
COSTO TOTAL mensual	\$ 9.042.238	\$ 11.205.676	\$ 11.321.918	\$ 11.390.002	\$ 11.650.718	\$ 11.815.118	\$ 11.979.518	\$ 12.101.240	\$ 12.410.114	\$ 12.381.882	\$ 12.690.756	\$ 12.758.840
Costo anual	\$ 140.748.020											

**Figura A.18 Variables y costos entregados por el Solver para escenario probable con inventario**

Fuente: Elaboración propia

	jul-22	ago-22	sept-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23
XAmarillo	48	74	76	77	79	81	82	84	86	88	89	91
XAzul	66	68	70	71	73	74	76	77	79	80	82	83
XBlanco	71	248	254	259	265	271	276	282	288	293	299	305
XCeleste	26	38	39	40	41	42	43	44	44	45	46	47
XNatural	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
XNegro	178	195	199	204	208	213	217	222	226	231	235	240
XRojo	41	78	80	82	83	85	87	89	91	92	94	96
XCarmesí	4	31	32	33	33	34	35	35	36	37	38	38
XVerde	4	66	67	69	70	72	73	75	76	78	79	81
XEsmeralda	22	37	38	39	40	41	41	42	43	44	45	46
YAmarillo	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
YAzul	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
YBlanco	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
YCeleste	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
YNatural	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
YNegro	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
YRojo	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
YCarmesí	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
YVerde	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
YEsmeralda	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
CostoAmarillo	\$ 401.640	\$ 544.120	\$ 555.080	\$ 560.560	\$ 571.520	\$ 582.480	\$ 587.960	\$ 598.920	\$ 609.880	\$ 620.840	\$ 626.320	\$ 637.280
CostoAzul	\$ 500.280	\$ 511.240	\$ 522.200	\$ 527.680	\$ 538.640	\$ 544.120	\$ 555.080	\$ 560.560	\$ 571.520	\$ 577.000	\$ 587.960	\$ 593.440
CostoBlanco	\$ 809.080	\$ 1.779.040	\$ 1.811.920	\$ 1.839.320	\$ 1.872.200	\$ 1.905.080	\$ 1.932.480	\$ 1.965.360	\$ 1.998.240	\$ 2.025.640	\$ 2.058.520	\$ 2.091.400
CostoCeleste	\$ 281.080	\$ 346.840	\$ 352.320	\$ 357.800	\$ 363.280	\$ 368.760	\$ 374.240	\$ 379.720	\$ 379.720	\$ 385.200	\$ 390.680	\$ 396.160
CostoNatural	\$ 379.720	\$ 390.680	\$ 396.160	\$ 401.640	\$ 407.120	\$ 412.600	\$ 418.080	\$ 423.560	\$ 429.040	\$ 434.520	\$ 440.000	\$ 445.480
CostoNegro	\$ 1.395.440	\$ 1.488.600	\$ 1.510.520	\$ 1.537.920	\$ 1.559.840	\$ 1.587.240	\$ 1.609.160	\$ 1.636.560	\$ 1.658.480	\$ 1.685.880	\$ 1.707.800	\$ 1.735.200
CostoRojo	\$ 363.280	\$ 566.040	\$ 577.000	\$ 587.960	\$ 593.440	\$ 604.400	\$ 615.360	\$ 626.320	\$ 637.280	\$ 642.760	\$ 653.720	\$ 664.680
CostoCarmesí	\$ 160.520	\$ 308.480	\$ 313.960	\$ 319.440	\$ 319.440	\$ 324.920	\$ 330.400	\$ 330.400	\$ 335.880	\$ 341.360	\$ 346.840	\$ 346.840
CostoVerde	\$ 160.520	\$ 500.280	\$ 505.760	\$ 516.720	\$ 522.200	\$ 533.160	\$ 538.640	\$ 549.600	\$ 555.080	\$ 566.040	\$ 571.520	\$ 582.480
CostoEsmeralda	\$ 259.160	\$ 341.360	\$ 346.840	\$ 352.320	\$ 357.800	\$ 363.280	\$ 363.280	\$ 368.760	\$ 374.240	\$ 379.720	\$ 385.200	\$ 390.680
Costo mano de obra	\$ 1.011.318	\$ 1.059.476	\$ 1.011.318	\$ 915.002	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 963.160	\$ 1.107.634	\$ 915.002	\$ 1.059.476	\$ 963.160
COSTO TOTAL mensual	\$ 5.722.038	\$ 7.836.156	\$ 7.903.078	\$ 7.916.362	\$ 8.116.798	\$ 8.237.358	\$ 8.335.998	\$ 8.402.920	\$ 8.656.994	\$ 8.573.962	\$ 8.828.036	\$ 8.846.800
Costo anual	\$ 97.376.500											

**Figura A.19 Variables y costos entregados por el Solver para escenario pesimista con inventario**

Fuente: Elaboración propia

	jul-22	ago-22	sept-22	oct-22	nov-22	dic-22	ene-23	feb-23	mar-23	abr-23	may-23	jun-23
XAmarillo	122	150	153	156	160	163	167	170	173	177	180	184
XAzul	134	137	140	144	147	150	153	156	159	162	165	169
XBlanco	319	502	513	525	536	548	559	571	582	594	605	617
XCeleste	64	77	79	81	82	84	86	88	89	91	93	95
XNatural	88	92	94	96	98	100	102	104	107	109	111	113
XNegro	372	394	403	412	421	430	439	449	458	467	476	485
XRojo	119	158	161	165	168	172	176	179	183	186	190	194
XCarmesi	34	63	64	66	67	68	70	71	73	74	76	77
XVerde	69	133	136	139	142	145	148	151	154	157	160	163
XEsmeralda	59	75	77	78	80	82	83	85	87	89	90	92
YAmarillo	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
YAzul	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
YBlanco	203	203	203	203	203	203	203	203	203	203	203	203
YCeleste	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
YNatural	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
YNegro	203	203	203	203	203	203	203	203	203	203	203	203
YRojo	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
YCarmesi	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
YVerde	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
YEsmeralda	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68	68
CostoAmarillo	\$ 952.143	\$ 1.107.600	\$ 1.124.040	\$ 1.140.480	\$ 1.162.400	\$ 1.178.840	\$ 1.200.760	\$ 1.217.200	\$ 1.233.640	\$ 1.255.560	\$ 1.272.000	\$ 1.293.920
CostoAzul	\$ 1.017.967	\$ 1.036.360	\$ 1.052.800	\$ 1.074.720	\$ 1.091.160	\$ 1.107.600	\$ 1.124.040	\$ 1.140.480	\$ 1.156.920	\$ 1.173.360	\$ 1.189.800	\$ 1.211.720
CostoBlanco	\$ 2.599.786	\$ 3.603.560	\$ 3.663.840	\$ 3.729.600	\$ 3.789.880	\$ 3.855.640	\$ 3.915.920	\$ 3.981.680	\$ 4.041.960	\$ 4.107.720	\$ 4.168.000	\$ 4.233.760
CostoCeleste	\$ 636.320	\$ 707.560	\$ 718.520	\$ 729.480	\$ 734.960	\$ 745.920	\$ 756.880	\$ 767.840	\$ 773.320	\$ 784.280	\$ 795.240	\$ 806.200
CostoNatural	\$ 767.840	\$ 789.760	\$ 800.720	\$ 811.680	\$ 822.640	\$ 833.600	\$ 844.560	\$ 855.520	\$ 871.960	\$ 882.920	\$ 893.880	\$ 904.840
CostoNegro	\$ 2.891.160	\$ 3.011.720	\$ 3.061.040	\$ 3.110.360	\$ 3.159.680	\$ 3.209.000	\$ 3.258.320	\$ 3.313.120	\$ 3.362.440	\$ 3.411.760	\$ 3.461.080	\$ 3.510.400
CostoRojo	\$ 937.720	\$ 1.151.440	\$ 1.167.880	\$ 1.189.800	\$ 1.206.240	\$ 1.228.160	\$ 1.250.080	\$ 1.266.520	\$ 1.288.440	\$ 1.304.880	\$ 1.326.800	\$ 1.348.720
CostoCarmesi	\$ 471.920	\$ 630.840	\$ 636.320	\$ 647.280	\$ 652.760	\$ 658.240	\$ 669.200	\$ 674.680	\$ 685.640	\$ 691.120	\$ 702.080	\$ 707.560
CostoVerde	\$ 663.720	\$ 1.014.440	\$ 1.030.880	\$ 1.047.320	\$ 1.063.760	\$ 1.080.200	\$ 1.096.640	\$ 1.113.080	\$ 1.129.520	\$ 1.145.960	\$ 1.162.400	\$ 1.178.840
CostoEsmeralda	\$ 608.920	\$ 696.600	\$ 707.560	\$ 713.040	\$ 724.000	\$ 734.960	\$ 740.440	\$ 751.400	\$ 762.360	\$ 773.320	\$ 778.800	\$ 789.760
Costo mano de obra	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318	\$ 1.011.318
COSTO TOTAL mensual	\$ 12.558.814	\$ 14.761.198	\$ 14.974.918	\$ 15.205.078	\$ 15.418.798	\$ 15.643.478	\$ 15.868.158	\$ 16.092.838	\$ 16.317.518	\$ 16.542.198	\$ 16.761.398	\$ 16.997.038
Costo anual	\$ 187.141.432											

**Figura A.20 Variables y costos entregados por el Solver para escenario optimista con inventario**

Fuente: Elaboración propia



**Resumen FI****UNIVERSIDAD DE CONCEPCION – FACULTAD DE INGENIERIA****RESUMEN DE MEMORIA DE TITULO**

<b>Departamento:</b>	Departamento de Ingeniería Industrial
<b>Carrera:</b>	Ingeniería Civil Industrial
<b>Nombre del memorista:</b>	Nicolás Ignacio Pavez Soto.
<b>Título de la memoria:</b>	Sistema de planificación de órdenes de producción para Cicla 3D.
<b>Fecha de la presentación oral:</b>	
<b>Profesor(es) Guía:</b>	Eduardo Salazar Hornig
<b>Profesor(es) Revisor(es):</b>	
<b>Concepto:</b>	
<b>Calificación:</b>	
<b>Resumen:</b>	

Se presentan los antecedentes de la impresión 3D y los alcances que esta puede llegar a tener, identificando el impacto en diversas áreas como lo son salud y educación. En el mismo punto, se indican los avances de esta tecnología y los materiales más comunes que se ocupan para imprimir, donde se hace especial énfasis en el más popular que es el PLA (Ácido Poliláctico) y es el con el que trabaja actualmente Cicla 3D. Se finaliza este capítulo con el amplio mercado que esta tecnología puede abarcar, en donde, por último, se presentan los objetivos de este estudio los cuales entregarán un valor agregado a la empresa al ser resueltos. Posterior a esto, se presenta la metodología a seguir, comenzando con una investigación de mercado y un pronóstico de demanda en base a datos históricos. Se determina una capacidad productiva de la organización y se plantean distintos escenarios, para así dar paso a un modelo de planificación de órdenes de producción, el que involucra una planificación agregada, maestra y plan de requerimiento de materiales. Para finalizar, se realiza un modelo de programación lineal con variables y restricciones, donde finalmente se resuelve en el Solver de Excel.

