



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ciencias Matemáticas**

**Escuela Profesional de Investigación Operativa**

**Optimización del sistema de control de inventarios de  
electrobombas para agua de una empresa del rubro  
hidráulico mediante la programación lineal entera**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación  
Operativa

**AUTOR**

Dennys Mijail YATACO CUEVA

**ASESOR**

Mg. José Carlos ORÉ LUJÁN

Lima, Perú

2021



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Yataco, D. (2021). *Optimización del sistema de control de inventarios de electrobombas para agua de una empresa del rubro hidráulico mediante la programación lineal entera*. [Trabajo de Suficiencia Profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ciencias Matemáticas, Escuela Profesional de Investigación Operativa]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

---

## Metadatos complementarios

<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	Dennys Mijail Yataco Cueva
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	10710531
URL de ORCID	-
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	José Carlos Oré Luján
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06119405
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0002-2174-4485">https://orcid.org/0000-0002-2174-4485</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	Esther Berger Vidal
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08766040
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	Lucy Haydee De La Cruz Cuadros
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06554824
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	A.3.3.5. Aplicaciones de herramientas de IO a la producción de bienes y servicios.

Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Coordenadas geográficas Latitud: -12.058333 Longitud: -77.083333
Año o rango de años en que se realizó la investigación	OCTUBRE 2021
URL de disciplinas OCDE	Matemáticas aplicadas <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.01.02</a>



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú. Decana de América  
FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INVESTIGACIÓN OPERATIVA

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL EN  
LA MODALIDAD VIRTUAL PARA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL  
DE LICENCIADO(A) EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA  
(PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2021-I)**

En Lima, siendo las 18:30 horas del sábado 02 de octubre del 2021, se reunieron los docentes designados como Miembros del Jurado del Trabajo de Suficiencia Profesional (PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL 2021-I): Dra. Esther Berger Vidal (PRESIDENTA), Lic. Lucy Haydee De La Cruz Cuadros (MIEMBRO) y el Mg. José Carlos Oré Luján (MIEMBRO ASESOR), para la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional titulado: **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS DE ELECTROBOMBAS PARA AGUA DE UNA EMPRESA DEL RUBRO HIDRAULICO MEDIANTE LA PROGRAMACION LINEAL ENTERA”**, presentado por el señor **Bachiller Dennys Mijail Yataco Cueva**, para optar el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Luego de la exposición del trabajo de suficiencia, la Presidenta invitó al expositor a dar respuesta a las preguntas formuladas.

Realizada la evaluación correspondiente por los miembros del Jurado Evaluador, el expositor mereció la aprobación REGULAR, con un calificativo promedio de DOCE.

A continuación, los miembros del Jurado dan manifiesto que el participante **Bachiller Dennys Mijail Yataco Cueva** en vista de haber aprobado la sustentación del Trabajo de Suficiencia Profesional, será propuesta para que se le otorgue el Título Profesional de Licenciado en Investigación Operativa.

Siendo las 19:00 horas se levantó la sesión firmando para constancia la presente Acta.

Dra. Esther Berger Vidal  
PRESIDENTA

Lic. Lucy Haydee De La Cruz Cuadros  
MIEMBRO

Mg. José Carlos Oré Luján  
MIEMBRO ASESOR



## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo José Carlos Oré Luján en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N° 001109-2021-D-FCM/UNMSM del trabajo de suficiencia profesional (TSP), cuyo título es: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE INVENTARIOS DE ELECTROBOMBAS PARA AGUA DE UNA EMPRESA DEL RUBRO HIDRÁULICO MEDIANTE LA PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA. Presentado por el bachiller: DENNYS MIJAIL YATACO CUEVA, para optar el título profesional de: Licenciado en Investigación Operativa.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 13 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado/ título/ especialidad correspondiente.

Firma del Asesor:

DNI: 06119405

Nombres y apellidos del asesor:

Mg. José Carlos Oré Luján



Huella digital

Agradezco a Dios por darme la perseverancia y la lucha para seguir adelante y cumplir con mis objetivos.

A mi madre quien ha sido mi soporte moral y me ha acompañado con sus consejos que sirvieron para concluir con mi formación profesional.

A nuestros docentes por guiarme en este camino profesional, por compartir sus conocimientos y experiencias conmigo.



## RESUMEN

La empresa peruana líder en el sector hidráulico en estudio se dedica a la distribución y venta de electrobombas de agua a todo el oriente del país. En estos momentos la empresa tiene dificultades en la planificación de pedido, la cual se ve afectada por varias variables como el precio de costo del producto, el precio de venta de los diversos productos finales, la demanda y los recursos disponibles. El Área de Logística tiene como función la planificación de cuantos productos solicitar, en que tiempo y cuál de ellos pasan directamente a ser vendidos y cuantos se pueden almacenar. Por otro lado, el área de ventas es la encargada de pronosticar la demanda de cada tipo de producto a lo largo del tiempo. en este escenario se desea verificar si existe una herramienta cuantitativa que le permita contar con un plan óptimo de pedido en el cual se pueda mejorar las utilidades de la empresa considerando las limitaciones y variables con que se enfrenta el problema de dicha planificación.

La programación lineal entera, herramienta de la investigación de operaciones, permitirá dar una respuesta al problema planteado de planificación de pedido, mediante la formulación del problema de manera cuantitativa, mediante la definición de variables, función, objetivo y restricciones para luego solucionarlo mediante el uso del software Lingo y encontrar un plan óptimo para lo que la empresa requiere.

**Palabras claves:** Programación lineal entera, agua, inventario

## ABSTRACT

The leading Peruvian company in the hydraulic sector under study is dedicated to the distribution and sale of electric water pumps throughout the eastern part of the country. At the moment the company has difficulties in order planning, which is affected by several variables such as the cost price of the product, the sale price of the various final products, the demand and the available resources. The Logistics Area's function is to plan how many products to request, at what time and which of them go directly to be sold and how many can be stored. On the other hand, the sales area is in charge of forecasting the demand for each type of product over time. In this scenario, you want to verify if there is a quantitative tool that allows you to have an optimal order plan in which you can improve the profits of the company considering the limitations and variables with which the problem of said planning is faced.

Integer linear programming, an operations research tool, will provide an answer to the posed order planning problem, by formulating the problem quantitatively, by defining variables, function, objective, and restrictions to then solve it by using of the Lingo software and find an optimal plan for what the company requires.

**Keywords:** Integer linear programming, water, inventory.

## ÍNDICE

<b>Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo I: Realidad Problemática</b> .....	2
Resumen del Trabajo .....	3
Justificación de la Problemática.....	4
<b>Capítulo II: Objetivo de la Investigación</b> .....	6
Objetivo Principal .....	6
Objetivos Específicos .....	6
Antecedentes Nacionales e Internacionales.....	7
Revisión de la literatura.....	14
Marco Conceptual .....	21
<b>Capítulo III: Metodología</b> .....	22
Variables a Procesar .....	22
Consideraciones y Supuestos .....	22
Técnica de Recolección de Datos.....	23
Técnica de Procesamiento de Datos .....	23
Simulaciones y Variaciones.....	24
<b>Capítulo IV: Resultados</b> .....	30
Pronóstico de la demanda.....	32
Desarrollo del Caso.....	36

Modelo de Programación Lineal.....	40
Validaciones de la Propuesta de Solución.....	49
Generación de Escenarios.....	58
<b>Capítulo V: Conclusiones.....</b>	<b>62</b>
<b>Capítulo VI: Recomendaciones.....</b>	<b>63</b>
<b>Capítulo VII: Referencias.....</b>	<b>64</b>
<b>Capítulo VIII: Anexo .....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Demanda de producción en 6 días útiles</i> .....	17
Tabla 2	<i>Producción en 3 próximos meses</i> .....	19
Tabla 3	<i>Inventario de almacén</i> .....	25
Tabla 4	<i>Inventario de almacén por zona</i> .....	26
Tabla 5	<i>Cantidad de cajas vendidas en los 2 últimos años (PKm60)</i> .....	27
Tabla 6	<i>Pronóstico de ventas de PKm 60</i> .....	29
Tabla 7	<i>Cantidad de cajas vendidas en los 2 últimos años (CPm620)</i> .....	30
Tabla 8	<i>Pronóstico de ventas de CPm620</i> .....	32
Tabla 9	<i>Cantidad de cajas vendidas en los 2 últimos años (4sr25G/10)</i> .....	32
Tabla 10	<i>Pronóstico de ventas de 4sr25g</i> .....	35
Tabla 11	<i>Demanda máxima de 3 productos (en cajas)</i> .....	35
Tabla 12	<i>Demanda mínima de 3 productos (en cajas)</i> .....	36
Tabla 13	<i>Demanda máxima de 3 productos al 60% (en cajas)</i> .....	37
Tabla 14	<i>Demanda mínima de 3 productos al 60% (en cajas)</i> .....	37
Tabla 15	<i>Capacidad de almacenes para los 3 productos (en cajas)</i> .....	38
Tabla 16	<i>Capacidad de almacén de MP (en kg)</i> .....	39
Tabla 17	<i>Precios de venta (por caja)</i> .....	39
Tabla 18	<i>Costo de inventario (por caja)</i> .....	39
Tabla 19	<i>Costos de MP (por kg)</i> .....	40
Tabla 20	<i>Costo de inventario de MP (costo por kg)</i> .....	40
Tabla 21	<i>Ingreso de datos al programa Lingo</i> .....	45
Tabla 22	<i>Excel de ingreso de los requerimientos solicitados en el estudio</i> .....	46

Tabla 23	<i>Datos de salida con la respuesta de requerimientos de Lingo a Excel.....</i>	47
Tabla 24	<i>Resultados en carpeta para validar el modelo de Excel a Lingo.....</i>	48
Tabla 25	<i>Solución de datos.....</i>	49
Tabla 26	<i>Solución en Lingo de costos reducidos.....</i>	50
Tabla 27	<i>Solución en Lingo que contiene holguras y precios duales.....</i>	51
Tabla 28	<i>Rangos de coeficientes de función objetivo.....</i>	54
Tabla 29	<i>Variación de posibles restricciones.....</i>	56
Tabla 30	<i>Capacidad de pedido según el escenario 1 (en cajas) .....</i>	58
Tabla 31	<i>Resultados del escenario 1.....</i>	59
Tabla 32	<i>Capacidad de almacenes según escenario 2 (en cajas) .....</i>	60
Tabla 33	<i>Resultados según escenario 2.....</i>	60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Modelos de electrobombas diversos para cualquier sistema de bombeo de agua...</i>	3
Figura 2	<i>Interfaz de Lingo siendo utilizada para algunos comandos.....</i>	10
Figura 3	<i>Interfaz de Lingo y reporte solución .....</i>	11
Figura 4	<i>Planificación de producción múltiples periodos .....</i>	21
Figura 5	<i>Diagrama de inventario por zonas .....</i>	26
Figura 6	<i>Cajas vendidas por mes (PKm 60).....</i>	28
Figura 7	<i>Cajas Vendidas x mes (CPm 620).....</i>	31
Figura 8	<i>Cajas vendidas x mes (4sr25g/10) .....</i>	34

## INTRODUCCION

El presente trabajo de suficiencia profesional de programación Lineal nos permite mejorar la forma de manejar un inventario y optimizar la misma. Sobre todo, en momentos que la empresa tiene dificultades en la planificación de su producción la cual se ve afectada por varias variables como el precio de costo de la producción, el precio de venta de los productos finales, la demanda y los recursos disponibles. El área de producción tiene como función la planificación de cuantos productos elaborar, en que tiempo y cuál de ellos pasan directamente a ser vendidos y cuantos se pueden almacenar. Por otro lado, el área de ventas es la encargada de pronosticar la demanda de cada tipo de producto a lo largo del tiempo.

En este caso presentamos una empresa dedicada al rubro hidráulico, el cual tiene una serie de descoordinación con los procesos de planificación de la producción para su respectiva atención a sus distribuidores.

En este escenario dicha empresa desea verificar si existe una herramienta cuantitativa que le permita contar con un plan de producción en el cual se pueda mejorar las utilidades de la empresa considerando las limitaciones y variables con que se enfrenta el problema de dicha planificación.

Desarrollando una forma alternativa de planificar la producción fuera de la manera tradicional que se trabaja en ingeniería industrial. La investigación de operaciones con el uso de la programación lineal brinda una forma adicional de planificar dicha producción modelando el problema actual mediante una formulación matemática, la que luego se conectará con un software y entregue dicha solución alternativa en un entorno amigable.

Y con el apoyo del software matemático nos va permitir desarrollar el caso de los productos que generan mayor demanda en el mercado hidráulico y saber las cantidades optimas a pedir.



## CAPÍTULO I

### **Problemática de la Investigación**

#### **Realidad Problemática**

Con más de 40 años de experiencia, el Grupo Bonnett S.A., conformado por Grupo Bonnet Retail y Grupo Bonnett Oriente S.A.C. tienen como principal meta la de aportar al mejoramiento de la calidad de vida de las personas en el Perú, ofreciendo electrobombas para agua marca Pedrollo. Bonnett Oriente comenzó a distribuir electrobombas y accesorios hidráulicos en el oriente del país para contribuir al desarrollo sostenido con el uso de diversos sistemas de agua. Llevando marcas reconocidas de la más alta calidad y rendimiento fiable a toda la zona oriente del país, comprometidos en dar alternativas con los diversos modelos de electrobombas usadas para llevar agua a todos los departamentos del oriente del Perú.

#### ***Misión***

Proporcionar diferentes soluciones integrales para el movimiento de líquidos, llevados por una amplia línea de productos de alta eficiencia y buena calidad, con experiencia, responsabilidad y profesionalismo.

#### ***Visión***

Consolidar una empresa innovadora, comprometida con la satisfacción de todos sus clientes, colaboradores y socios comerciales, con políticas orientadas a una sólida estructura de servicio.

**Figura 1**

*Modelos de electrobombas diversos para cualquier sistema de bombeo de agua*



*Nota:* Extraída de <https://guiadebombas.com/co/>

### **Resumen del Trabajo**

La empresa peruana líder en el sector hidráulico en estudio se dedica a la distribución y venta de electrobombas de agua a todo el oriente del país. En estos momentos la empresa tiene dificultades en la planificación de pedido, la cual se ve afectada por varias variables como el precio de costo del producto, el precio de venta de los diversos productos finales, la demanda y los recursos disponibles. El Área de Logística tiene como función la planificación de cuantos productos solicitar, en que tiempo y cuál de ellos pasan directamente a ser vendidos y cuantos se pueden almacenar. Por otro lado, el área de ventas es la encargada de pronosticar la demanda de cada tipo de producto a lo largo del tiempo. en este escenario se desea verificar si existe una herramienta cuantitativa que le permita contar con un plan óptimo de pedido en el cual se pueda mejorar las utilidades de la empresa considerando las limitaciones y variables con que se enfrenta el problema de dicha planificación.

La programación lineal entera, herramienta de la investigación de operaciones, permitirá dar una respuesta al problema planteado de planificación de pedido, mediante la formulación del problema de manera cuantitativa, mediante la definición de variables, función, objetivo y restricciones para luego solucionarlo mediante el uso del software Lingo y encontrar un plan óptimo para lo que la empresa requiere.

### **Problema Principal**

En base a la realidad problemática se plantea lo siguiente: ¿En qué medida, es posible obtener un plan de pedido, de inventario y de ventas óptimo que le permita a Bonnett Oriente S.A.C. obtener la mayor rentabilidad de sus principales productos en los próximos meses, de tal manera que pueda considerar las restricciones de la demanda, capacidad de producción, de almacenamiento y los costos e ingresos asociados a cada tipo de producto?

### **Problemas específicos**

- ¿En qué medida el análisis de variables de decisión de la programación lineal afecta el funcionamiento y maximizará el beneficio de utilidad para grupo Bonnett Oriente?
- ¿En qué medida la función objetivo de la programación lineal optimizará la utilidad de la empresa Grupo Bonnett Oriente S.A.C. en el año 2021?
- ¿En qué medida la determinación de restricciones de la programación lineal optimizará la utilidad de Grupo Bonnett Oriente S.A.C.?

### **Justificación de la Problemática**

Se presentan las siguientes justificaciones:

- Dar un soporte cuantitativo que pretende encontrar un plan de pedido óptimo, con el fin de maximizar las utilidades. La programación lineal en esencia permite encontrar una solución óptima a problemas empresariales, por lo que se plantea su desarrollo en el presente trabajo.
- Desarrollar una forma alternativa de planificar la producción fuera de la manera tradicional que se trabaja en ingeniería industrial. La investigación de operaciones con el uso de la programación lineal brinda una forma adicional de planificar dicho pedido modelando el problema actual mediante una formulación matemática, la que luego se conectará con un software y entregue dicha solución alternativa en un entorno amigable.
- Desarrollar paso a paso el trabajo, desde la formulación de un problema, definición de variables e interpretación, aplicando todos los conocimientos a un caso real, poniendo a prueba nuestro aprendizaje y conocimiento.

## CAPÍTULO II

### Objetivo de la Investigación

#### Objetivo Principal

Desarrollar un modelo de programación lineal entera con la finalidad de obtener una solución óptima a la planificación de pedido, de inventario y de ventas óptimo que permita maximizar las utilidades de la empresa hidráulica en sus principales productos y para los próximos meses.

#### Objetivos Específicos

- Determinar todas las variables de decisión de la programación lineal que influyen en el funcionamiento y optimizaría el beneficio de utilidad para grupo Bonnett Oriente.
- Determinar la función objetivo de la programación lineal que maximizará la utilidad de la empresa grupo Bonnet Oriente S.A.C. en el año 2021.
- Determinar las limitaciones de la programación lineal, la misma que optimizará la utilidad de Grupo Bonnett Oriente S.A.C.

## Marco Teórico

### Antecedentes Nacionales e Internacionales

#### *Antecedentes Nacionales*

Se toma en cuenta trabajos de investigación realizados en los que se usa la programación lineal para lograr optimizar utilidad, eficiencia, etc.

En el presente estudio de investigación se usa la aplicación de la programación lineal a una empresa siderúrgica, el cual tenía por objetivo alcanzar una mayor eficiencia de los hornos de recalentamiento a través de la programación lineal utilizando el método simplex. Dicha investigación tuvo un diseño aplicativo, de tipo experimental, basado en la teoría específica de la programación lineal. Fueron 14 variables de decisión determinadas y 1 función objetivo formulada para lograr optimizar la utilidad y obtener la mejor eficiencia económica y energética de los hornos, y a su vez, se detectaron 17 restricciones involucradas a lo largo del proceso. Se utilizó la herramienta Solver para alcanzar la solución de la función objetivo, en el cual se trabajaron las fórmulas obtenidas mediante la investigación, las mismas que son consideradas como un aporte en la labor de investigación. El resultado de la solución se refleja en un valor óptimo de la producción diaria. (Quispe y Sánchez, 2019, p. viii)

En Puno, se desarrolló una investigación cuyo principal objetivo era la implementación de un modelo matemático que genere las máximas ganancias a los pequeños y medianos productores de leche de una zona del departamento de Puno. Según ello, la maximización de la producción de leche involucra el uso de herramientas que admitan tomar las mejores decisiones; siendo una de ellas, la programación lineal, en la cual se aplican el método simplex, teoría de dualidad,

análisis de sensibilidad y criterios de optimización con la finalidad de obtener resultados aceptables a mediano y largo plazo. (Acero, 2017, p. 15)

Ángel De La Cruz (2017), propuso lo siguiente:

Se debía realizar una evaluación de la influencia en una optimización del total de la producción de derivados lácteos para mejorar las ventas de una empresa. La población a analizar la conformaron 18 del rubro, pero la muestra está dirigida al caso de la empresa PLEMSA debido a la capacidad de planta instalada. El autor detalló que se realizó una implementación metodológica y se calcularon los coeficientes técnicos de cada uno de los materiales y de la totalidad de los insumos para cada producto, teniendo en cuenta las demandas y los recursos disponibles de la empresa.

Se realizó la formulación del modelo de optimización con 8 variables de decisión, cantidad que corresponde con cada derivado lácteo que dicha empresa viene produciendo; asimismo, se plantearon las restricciones de insumos, de demanda de cada producto, de la cantidad de leche disponible y la del presupuesto semestral asignado. (p. 5)

Usando Programación Lineal Entera también se realizan proyectos de producción como la investigación del autor, la cual tuvo el propósito de reducir la penalidad que generó el retraso en la culminación de diversos proyectos operados por una máquina retroexcavadora. En esta investigación se decidió utilizar el método doble simplex de paso largo con el software GNU Octave (versión 6.2.0). La máquina retroexcavadora contaba con un plan de trabajo en el que se estimaba la fecha y el orden de entrega de los proyectos antes de la ejecución. La empresa Consultores & Ejecutores Jhothiza S.R.L. realizó la verificación de los plazos de entrega

ejecutando el modelo mencionado y se concluyó que la penalidad fue de S/. 8 100. (Revista Científica Multidisciplinaria Pakamuros, 2021)

### ***Antecedentes Internacionales***

El primer paso para resolver un problema de programación lineal (PL), usando Lingo o cualquier otro método de resolución, consiste en realizar un modelamiento matemático, siendo esta fase en la que se debe mostrar mayor habilidad y destreza.

Salazar (2019) afirma que “Lingo es definido como una herramienta que ha sido diseñada para resolver y construir modelos de optimización matemática”; además, “es considerada la más simple de todas las aplicaciones de resolución de modelos matemáticos y para el caso de los modelos de programación lineal el ingreso de los datos es bastante sencillo”. Realizaremos una aplicación de su uso con el siguiente ejemplo: Un herrero con 120 Kg. de aluminio y 80 Kg. de acero quiere fabricar bicicletas de paseo y de montaña para vender, respectivamente a 20.000 y 15.000 pesos cada una para sacar el máximo beneficio, para la de montaña empleará 2 Kg. de ambos metales y para la de paseo empleará 1 Kg. de acero y 3 Kg. de aluminio. ¿Cuántas bicicletas de montaña y de paseo deberá fabricar para maximizar las utilidades?

Plantaremos el modelo matemático de la siguiente manera:Definición

de variables a utilizar:

x = Bicicletas de paseo que se producirán

y = Bicicletas de montaña que se producirán



Restricciones de capacidad:

Para el aluminio:

$$x + 2y \leq 80$$

Para el acero:

$$3x + 2y \leq 120$$

Función Objetivo:

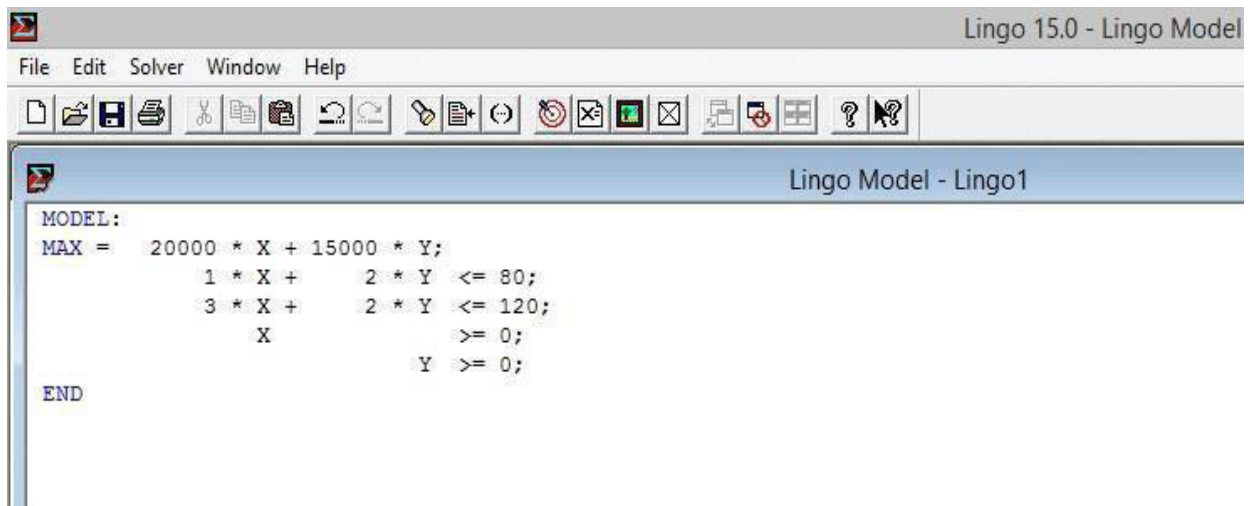
$$Z_{\max} = 20000x + 15000y$$

Ingresando los datos a la interfaz de Lingo:

En su ventana inicial se debe utilizar un comando de apertura «MODEL:» y uno de cierre «END»,y en el medio de estos comandos se escribe el modelo, como se indica en la Figura 2.

**Figura 2**

*Interfaz de Lingo siendo utilizada para algunos comandos*



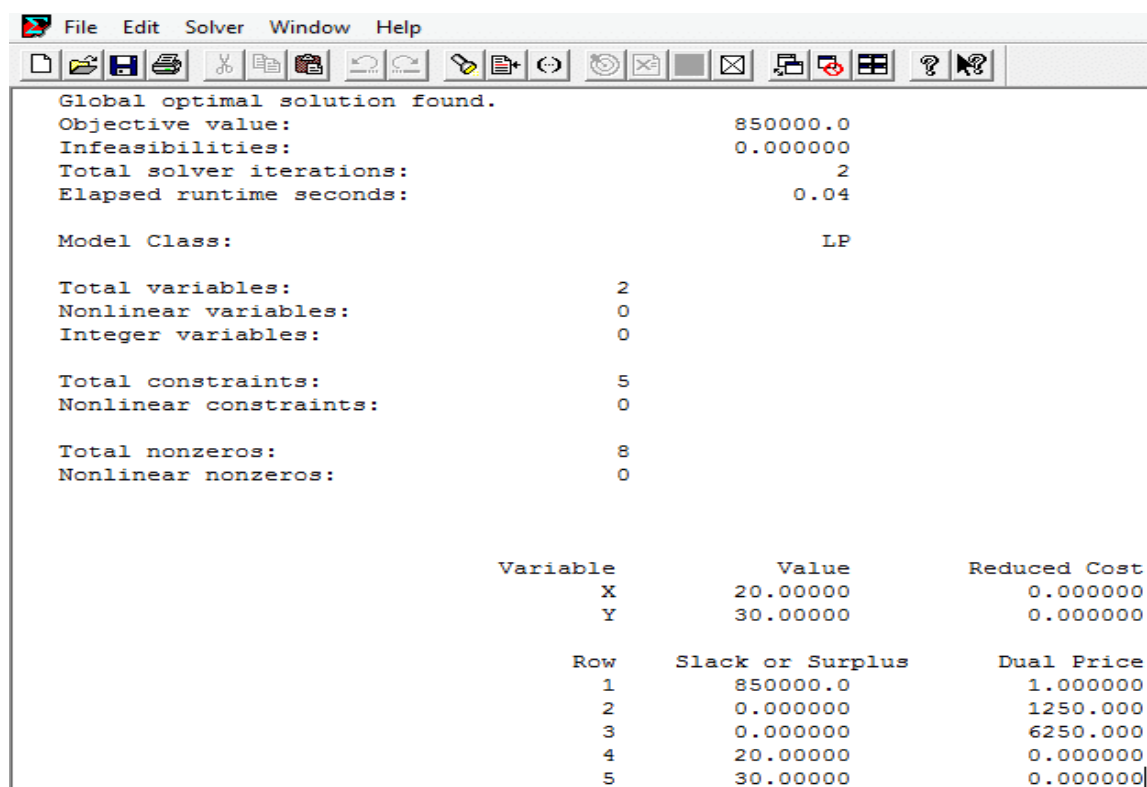
Nota. Extraído de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/programación-lineal-en-Lingo/>

De la figura 2 se puede observar lo siguiente, el comando «MAX:» es utilizado para consignar la función objetivo y su criterio (en caso de minimizar se utilizará MIN:). Para la separación de cada línea de código es necesario utilizar el carácter «;». Cuando se tiene el código con nuestras restricciones establecidas, se procede a resolver dando clic en el botón Solve:

Al resolver se obtendrá el reporte solución, basándonos en sus datos podremos efectuar un análisis de sensibilidad. Es importante tener en cuenta que los datos expresados en el reporte se encuentran en función de la línea de código ingresada, por lo que siempre se debe considerar en qué línea se escribió cada función objetivo y cada restricción para hacer un correcto análisis.

**Figura 3**

*Interfaz de Lingo y reporte solución*



```

Global optimal solution found.
Objective value:                850000.0
Infeasibilities:                0.000000
Total solver iterations:        2
Elapsed runtime seconds:        0.04

Model Class:                    LP

Total variables:                2
Nonlinear variables:            0
Integer variables:              0

Total constraints:              5
Nonlinear constraints:          0

Total nonzeros:                8
Nonlinear nonzeros:            0

Variable      Value      Reduced Cost
X             20.00000  0.000000
Y             30.00000  0.000000

Row    Slack or Surplus    Dual Price
1      850000.0             1.000000
2      0.000000            1250.000
3      0.000000            6250.000
4      20.00000            0.000000
5      30.00000            0.000000

```

Nota. Adaptado de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/programación-lineal-en-Lingo/>

Salazar (2019) precisa lo siguiente:

**Objective Function:** Muestra el resultado de la función objetivo. Para la presente investigación la solución óptima tiene una función objetivo (utilidad) de \$ 850.000

**Value:** Valor que toman las variables de decisión en la función objetivo.

**Slack or Surplus:** Cuando la restricción en cuestión tiene el operador " $\leq$ ", corresponde a una holgura, lo que se puede interpretar como el recurso no utilizado. En el caso de que la restricción en cuestión tiene el operador " $\geq$ ", significa un exceso, es decir, se puede interpretar como el recurso utilizado por encima de la restricción de mínimo uso.

**Dual Price:** Es el cambio marginal de la función objetivo cuando el valor del lado derecho de la restricción aumenta en una unidad. Para la presente investigación sería de la siguiente forma: por cada kg de acero adicional que tengamos disponible, la función objetivo aumentará en \$ 1250.

Una investigación realizada en la empresa La Fortaleza Cía. Ltda. busca proporcionar una solución al problema de manejo de inventario de materia prima que presenta en sus bodegas la cual viene generando altos costos. Se muestra una aplicación de un algoritmo matemático que se encuentra basado en un modelo de programación lineal que forma parte del análisis de los productos necesarios para la fabricación y del estudio del proceso productivo; y a su vez considera algunas variables como los costos relacionados por llevar inventario, el límite de la capacidad productiva y la demanda, para así plantear una función objetivo y un sistema de restricciones, los mismos que mediante la optimización de los resultados van a encontrar las cantidades óptimas requeridas de material, la cantidad de unidades faltantes con el objetivo de satisfacer la demanda, minimizar el costo total del inventario y maximizar utilidades y el inventario al final de cada período, considerando un horizonte de planificación de 1 año. (Sánchez, 2015)

Las industrias manufactureras optan por planificar su producción eficientemente con la finalidad de lograr la optimización de todos sus recursos, para ello se apoya en las diversas herramientas informáticas y técnicas de planeación, entre ellas se pueden destacar los métodos de programación lineal y de solución tradicionales. Se presenta el caso de Curtidos Salazar, una empresa ecuatoriana del sector curtiembre, en la cual se aplicó una planeación agregada de producción y se pudo comparar 3 modelos de planes tradicionales con el método de programación lineal propuesto por Hansmann, F y Hess. En su resolución se ha utilizado Lingo y los resultados indican que el método de programación lineal es más eficiente ya que permite optimizar los costos basándose en la solución tradicional de los modelos relacionados a la fuerza de trabajo, demanda e inventario, manteniendo una fuerza laboral constante, contrataciones y despidos eventuales. (Reyes y Molina, 2014)

En la ciudad de San José de Cúcuta (Colombia) se desarrolla una planta embotelladora de gaseosas, la cual se planteó el objetivo de realizar un diseño óptimo de un plan de producción debido a que se han identificado restricciones del sistema productivo para el desarrollo de un modelo matemático orientado a seguir la metodología de la investigación de operaciones, específicamente la teoría de restricciones y los softwares de programación lineal. El resultado obtenido fue la cantidad óptima de fabricación al menor costo para el período seleccionado (junio del 2011). Asimismo, el estudio permitió evidenciar una capacidad productiva no utilizada, a partir de lo cual se identificaron oportunidades y escenarios para el aprovechamiento de sus recursos. El modelo matemático desarrollado en la presente investigación nos representa un plan óptimo de producción que puede ser replicado en plantas del mismo rubro que presenten similares características. (Ortiz y Caicedo, 2012)

Las empresas del rubro manufactura requieren de grandes cambios para lograr la calidad y cantidad requerida en la planificación de sus producciones y atender rápidamente a las necesidades del mercado, siendo sumamente importante para ello un adecuado control de la producción y una correcta selección del sistema de planificación. La aplicación práctica de alguna herramienta depende de la clasificación del sistema productivo. Los autores de la presente investigación no tienen conocimiento de que actualmente exista un procedimiento que permita la selección de la herramienta matemática de planificación y control más correcta para ser replicada en alguna otra empresa manufacturera. Lo propuesto en este artículo permite identificar y seleccionar la herramienta matemática que más se ajuste a la realidad de cada empresa, propiciando un incremento del nivel de gestión empresarial, un aumento del nivel de gestión de la producción, un mayor enfoque al cliente y un empleo más eficiente de los recursos. (Tamayo y Urquiola, 2014)

### **Revisión de la literatura**

Según Hamdy T. (2012, p. 453) se tiene lo siguiente:

#### *Planificación de la producción y del control de inventario*

Las aplicaciones de programación lineal para planificar la producción y controlar inventarios son abundantes. El siguiente ejemplo propone el uso del inventario aplicado a un sistema de producción de múltiples períodos para satisfacer la futura demanda.

#### **Ejemplo 1:**

Acme Manufacturing Company firmó un contrato para entregar 100, 250, 190, 140, 220 y 110 ventanas para casa durante los siguientes seis meses. El costo de producción por ventana varía por período y se estima que será de 50, 45, 55, 52 y 50 dólares durante los próximos 6 meses.

Con la intención de optimizar la producción y beneficiarnos de las fluctuaciones del costo que originará la fabricación, la empresa Acme puede aprovechar en producir más ventanas de las necesarias en un mes dado y conservar las unidades adicionales para entregarlas en los meses siguientes, lo cual generará un costo de almacenamiento de 8 dólares por ventana al mes, estimado en el inventario de fin de mes. Desarrolle un programa lineal para determinar el programa de producción óptimo.

### Variables

$X_i$  = Cantidad producida en el mes  $i$

$I_i$  = Unidades que quedan en el inventario de fin de mes  $i$

### Función Objetivo

Minimizar  $Z = 50 X_1 + 45 X_2 + 55 X_3 + 48 X_4 + 52 X_5 + 50 X_6 + 8 (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6)$

### Restricciones

Inventario inicial + Cantidad de producción – Inventario Final = Demanda

$$X_1 - I_1 = 100 \quad (1^\circ \text{ m.})$$

$$I_1 + X_2 - I_2 = 250 \quad (2^\circ \text{ m.})$$

$$I_2 + X_3 - I_3 = 190 \quad (3^\circ \text{ m.})$$

$$I_3 + X_4 - I_4 = 140 \quad (4^\circ \text{ m.})$$

$$I_4 + X_5 - I_5 = 220 \quad (5^\circ \text{ m.})$$

$$I_5 + X_6 - I_6 = 110 \quad (6^\circ \text{ m.})$$

$$X_i \geq 0 \quad i=1,2,3,4,5,6$$

Solución:

Se muestra que la demanda de cada mes se satisface desde la misma producción del mes excepto en el mes 2 donde la cantidad producida es de 440 unidades y cubren la demanda de los meses 2 y 3. El costo total asociado es  $z = \$49,980$

De acuerdo a Cabrera (2017, p. 94) existen diversos modelos de producción, de uno o varios productos y de múltiples periodos.

**Modelos de producción: Múltiples períodos, Uno o varios Productos**

Familia de variables de decisión típicas:

- ¿Cuánto se debe producir en cada período?
- ¿Cuánto se debe vender en cada período?
- ¿Cuánto se debe guardar en cada período?

Familia de restricciones típicas:

- Capacidad de producción: unidades que se pueden generar en un determinado mes, en función de las condiciones de la empresa y de la disponibilidad de materia prima.
- Demanda: cantidad solicitada que se deberá entregar en la fecha acordada.
- Capacidad de almacén: cantidad de artículos producidos por la empresa que entran en el área de almacenaje definido.
- Balance en cada período: recuento de inventario mensual.

Cabrera E. (2017), define que el balance indica la condición de que en cada período las cantidades de producto con las que se cuenta deben ser equivalentes a las cantidades de

productos que se venden y se guardan para el período siguiente, lo que se detalla en la siguiente ecuación:

$$\text{Inventario inicial} + \text{producción (compra)} = \text{Venta (demanda)} + \text{Inventario final}$$

Cabe señalar que, en el primer periodo, el inventario inicial es un dato; en cambio, en los períodos siguientes el inventario inicial será el inventario final del período anterior que será una incógnita (una de las variables de decisión).

Según Montufar (2018, p. 99-102) se plantean los siguientes ejemplos:

**Ejemplo 2:**

En un taller se producen dos piezas de automóvil; para ello, es necesario realizar cuatro actividades de forma que la producción se ve limitada por la disponibilidad de horas de trabajo.

Las disponibilidades de tiempo de trabajo para cada actividad se resumen en la tabla 1.

**Tabla 1**

*Tiempo demandado por cada pieza y actividad*

Actividad	Pieza 1	Pieza 2
1	10 minutos	20 minutos
2	20 minutos	15 minutos
3	10 minutos	15 minutos
4	5 minutos	10 minutos

*Nota.* Tomado de *Investigación de Operaciones* (p. 102) por Montufar M. 2018.



Los propietarios del taller ganan \$ 100.00 y \$ 200.00 por cada pieza vendida del tipo 1 y 2, respectivamente. Si se considera la experiencia y las capacidades de los trabajadores del taller se observa que sólo se cuenta con 500 horas cada semana para realizar la actividad 1, de 400 para la actividad 2, de 400 para la 3 y de 300 para la 4. Por otro lado, hay trabajadores con capacitación para realizar dos actividades diferentes. Por ello, se dispone de 430 horas más que pueden dedicarse a la actividad 1 o a la 2, según convenga, y de 400 horas más destinadas a la actividad 3 o bien a la 4.

Los propietarios del taller desean saber cuál es la producción óptima, así como la asignación de tiempo para las distintas actividades; para ello, plantean el siguiente programa lineal, considerando las variables:

$x_j$  : Unidades de la pieza ; que se fabricarán.

$h_j$  : Horas semanales que se asignarán a la actividad i.

La función que representa el objetivo de maximización de las ganancias es: max

$$z = 100 x_1 + 200 X_2$$

Dicha función objetivo está sujeta a las ciertas condiciones: dada la limitación de horas semanales para realizar cada una de las cuatro actividades, se debe cumplir que:

$$10 x_1 + 20 x_2 \leq 60h_1$$

$$20 x_1 + 15 x_2 \leq 60h_2$$

$$10 x_1 + 15 x_2 \leq 60h_3$$

$$5 x_1 + 10 x_2 \leq 60h_4$$

Donde las horas disponibles por semana, deben cumplir a su vez que:  $h_1$

$$\leq 500 + 430 = 930$$

$$h_2 \leq 400 + 430 = 830$$

$$h_3 \leq 400 + 400 = 800$$

$$h_4 \leq 300 + 400 = 700$$

$$h_1 + h_2 \leq 500 + 400 + 430 = 1330$$

$$h_3 + h_4 \leq 400 + 300 + 400 = 1100$$

$$\text{con } x_j \geq 0 \text{ y } h_j \geq 0$$

La solución que brinda se puede desarrollar en solver de Excel, en la cual nos dice que debemos fabricar solo piezas del tipo 2, en resumen 2280 piezas, si se dispone de 760 horas para la actividad 1570 horas para las de tipo 2 y para la de 3, respectivamente, y de 380 para la actividad tipo 4; con ellos obtenemos ganancias máximas de 456 000.00 dólares.

### Ejemplo 3:

La junta directiva de una fábrica de caramelos desea determinar las cantidades que se producirán de uno de sus productos en los próximos 3 meses; para ello, ha elaborado la tabla 2.

**Tabla 2**

*Producción en 3 próximos meses*

Mes	Demanda (ton)	Capacidad de producción (ton)	Costo producción (\$/kg)
1	20	20,5	9
2	23	24	10
3	18	25,5	12

*Nota.* Tomado de *Investigación de Operaciones* (p. 102) por Montufar M. 2018.

El coste de almacenamiento 1 Kg de caramelos de un mes para el siguiente se estima en \$8.00.

El Stock inicial es de 22 ton y se desea que el stock final, al terminar el tercer mes, no sea inferior a 18 ton. Por otro lado, la capacidad máxima del almacén es de 23 ton de caramelos.

Se desea plantear un programa lineal que permita determinar el plan de producción para los próximos tres meses, de forma que se satisfaga la demanda minimizando los costes de producción y almacenamiento. Para ello se definen las variables siguientes:

$X_i$ : Toneladas de caramelos producidos el mes  $i$ -ésimo.  $S_i$   
: Toneladas de caramelos almacenados el mes  $i$ -ésimo.

Una vez definidas las variables, se construye la función objetivo de minimización de costes: min

$$z = 9 x_1 + 12 x_3 + 8(s_1 + s_2 + s_3).$$

La cual estará sujeta a las restricciones que se enumeran a continuación: Por

las limitaciones en la capacidad de producción:

$$0 \leq x_1 \leq 20.5 \quad 0 \leq x_2 \leq 24 \quad y \quad 0 \leq x_3 \leq 25.5$$

Por la limitación en la capacidad del almacén y la exigencia final de cantidad almacenada:

$$0 \leq s_1 \leq 23 \quad 0 \leq s_2 \leq 23 \quad y \quad 0 \leq s_3 \leq 23$$

finalmente, por la relación entre la cantidad almacenada, la producida y la demanda:

$$s_1 = 22 + x_1 \quad \underline{20}$$

$$s_2 = s_1 + x_2 \quad \underline{23}$$

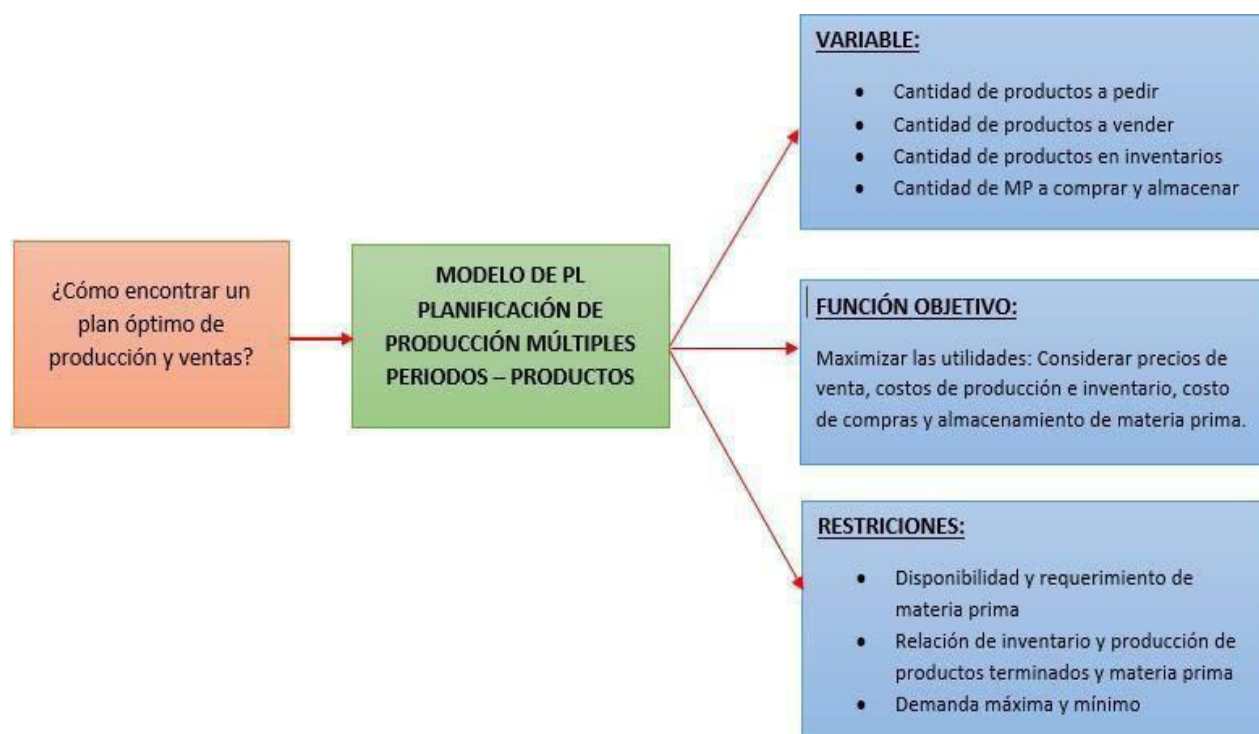
$$s_3 = s_2 + x_3 \quad \underline{18}$$

La herramienta Solver de Excel proporciona la solución, según la cual se debe producir 7.5 ton el primer mes, 24 ton el segundo y 25.5 ton el tercero; las cantidades almacenadas son 9.5 ton, 10.5 ton y 18 ton en cada uno de los meses, respectivamente. Con ello se minimizan los costes, que ascienden a \$917.50.

## Marco Conceptual

**Figura 4**

*Planificación de producción múltiples periodos*



*Nota.* Elaboración propia.

## CAPÍTULO III

### Metodología

#### Variables a Procesar

Las variables para procesar en el presente modelo matemático de programación lineal son las siguientes:

- Cantidad de productos a almacenar en un determinado mes
- Cantidad de productos a pedir en un determinado mes
- Cantidad de productos a comercializar en un determinado mes
- Cantidad de meses o período de planificación para el pedido al proveedor, venta e inventario
- Capacidad de los inventarios
- Costos de producción
- Costos de inventario
- Demanda máxima y mínima de los productos
- Tipos de producto
- Precios de Venta

#### Consideraciones y Supuestos

- La demanda pronosticada por el departamento comercial se entiende que no se modificará a lo largo del estudio y de la aplicación del modelo de programación lineal.
- Los costos de inventario se asumen que son constantes o fijos en el período que corresponderá a cada producto y cada tiempo, al momento de la ejecución y desarrollo del modelo.
- Los precios de venta asociados a cada producto y cada tiempo se mantienen constantes a lo largo de la ejecución del modelo matemático.

- La capacidad de los inventarios de cada producto en cada tiempo no se modificará a lo largo de la ejecución del modelo.
- La demanda pronosticada como máxima o mínima se asume que no se modifica a lo largo del desarrollo del trabajo.
- Las variables asociadas a la cantidad de productos, venta de productos o almacenamiento son de carácter entero ya que los principales productos que se venden en Bonnett Oriente son enteros.

### **Técnica de Recolección de Datos**

En las técnicas de recolección de datos se aplicará para el presente trabajo las siguientes herramientas:

- Entrevistas y Cuestionarios
- Observación directa presencial con toma de muestras
- Análisis de diagramas de flujo, procedimientos e información histórica.
- Información en reportes que se puedan conseguir del área comercial y del área de logística.

### **Técnica de Procesamiento de Datos**

En las técnicas de procesamiento de datos tenemos:

- Recolección de datos mediante el uso de plantillas para los cuestionarios y las entrevistas, las cuales se procesarán para validar las principales variables del modelo de programación lineal.
- Recolección de datos mediante el uso de tablas en Excel para obtener los precios de venta, costos y requerimientos de recursos.

- Recolección de datos mediante el uso de tablas en Excel para obtener la demanda histórica y pronosticada de los productos más importantes. Se realizará un pronóstico de los productos a trabajar.
- Tabular de los datos recolectados, tanto en las entrevistas, cuestionarios, tablas de información y reportes de la empresa.
- Resumen de la información en una tabla de entrada en Excel.

### **Simulaciones y Variaciones**

Luego de formular el modelo y conectarlo con Excel, se realizará algunas simulaciones o variaciones que den sensibilidad al modelo con la finalidad de validar su efectividad y flexibilidad. En las simulaciones se realizará cambios en los siguientes datos o variables:

- Demanda máxima y mínima
- Precios de venta
- Costos de producción y de inventario
- Requerimiento de materia prima
- Disponibilidad de materia prima y de capacidad de producción

Cada simulación o variación dará un resultado del modelo de programación lineal planteado, buscando que la solución de la mayor utilidad, es decir, encontrando la solución óptima que maximice el beneficio para Bonnett Oriente S.A.C.

## CAPÍTULO IV

### Resultados

Se realizó una clasificación ABC que nos va a permitir mejorar la distribución de todos los productos en el almacén, teniendo en cuenta la prioridad de cada uno para la empresa, el valor y la rotación. Con este criterio se va a priorizar la adquisición y colocación de los productos por el aporte económico que suponen para la empresa y no por su volumen o cantidad.

ABC es un “sistema que se basa en el **principio de Pareto o regla del 80/20**, el cual indica que el 20% del esfuerzo es responsable del 80% de los resultados. Si el mencionado sistema lo aplicamos al ecosistema del almacén, **el 20% de los artículos generan el 80% de los movimientos de la mercancía existente**, y el 80% de los productos originará el restante 20% de movimientos” (Mecalux Esmena, 2019).

**Tabla 3**

#### Inventario de almacén

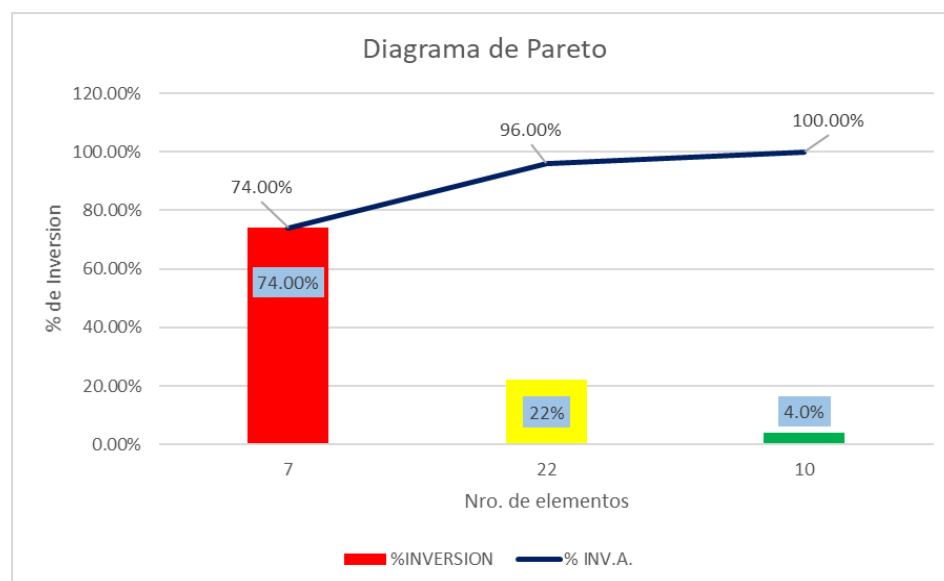
Cod. Almacén	Cod. Artículo	Descripción	UNI.	Cantidad	Imp. Neto	inversion acumulada	porcentaje de inversion acumulada	zona	%
1A	E101P2011051	ELECTROBOMBA PEDROLLO 0.5 h.p. PERIFERICA PKm 60	UND	1192	219666.68	219666.68	13.7%	A	74.00%
1A	E101P2021101	ELECTROBOMBA PEDROLLO 1.0 h.p. CENTRIFUGA CPM 66	UND	778	352706.33	572373.01	35.9%	A	
1A	M204P2250101	ELECTROBOMBA PEDROLLO 4SR25G/10 Monofásica 1 hp	UND	314	430966.68	1008839.69	62.7%	A	
1A	AC01L101G930	AUTOMATICO DE NIVEL LUISE G190 CABLE DE NEOPREN	UND	243	10176.17	1019015.86	63.3%	A	
1A	E101P2062149	ELECTROBOMBA PEDROLLO JET AUTOCEBANTE 1.0 h.p. JS	UND	206	103756.55	1122772.41	69.8%	A	
1A	E101P2021051	ELECTROBOMBA PEDROLLO 0.5 h.p. CENTRIFUGA CPM 66	UND	206	59193.66	1181966.07	73.5%	A	
1A	E101B7021101	ELECTROBOMBA CENTRIFUGA BOTT'S MOD. CPM-158 (220V)	UND	206	9050.88	1191016.95	74.0%	A	
1A	M204P2330210	ELECTROBOMBA PEDROLLO 4SR33G/20 Monofásica 2 hp	UND	167	273265.47	1464282.42	91.0%	B	
1A	AC03L101F508	AUTOMATICO DE PRESION SQUARE-D F5G-2 (HASTA80 PSI)	UND	92	4071.34	1468353.76	91.3%	B	
1A	RAP220101004	IMPULSOR PARA BOMBAS MODELO 4SR25G (4SR4)	UND	84	1280	1469633.76	91.3%	B	
1A	AC04L101MA06	MANOMETRO LUISE 0 - 5 BAR (0-88 PSI)	UND	80	1270.63	1470904.41	91.4%	B	
1A	PI05C8011515	BASE DE BOQUILLA DE RETORNO MARCA CUSTON MOLDI	UND	79	1484.85	1472389.26	91.5%	B	
1A	AC04G101A106	CONECTOR DE BRONCE LUISE DE 5VIAS LARGO	UND	79	2324.01	1474713.27	91.7%	B	
1A	AC05L101P010	VALVULA CHECK DE PIE "LUISE" 1"	UND	61	1932.87	1476646.14	91.8%	B	
1A	AC20GRMBD205	GRIFOS PARA MANGUERA DE BOLA 1/2-1/2"	UND	60	869.2	1477515.34	91.8%	B	
1A	AC06GW01V024	TANQUE HIDRONEUMATICO GLOBAL WATER SOLUTIONS	UND	59	7411.8	1484927.14	92.3%	B	
1A	AC90CEKRS340	AUTOMATICO DE PRESION MODELO KRS-3 DE 20-40 PSI	UND	51	1599	1486526.14	92.4%	B	
1A	E103P2031001	CAJA DE CONTROL PARA MOTOR SUMERGIBLE 1.0 h.p. QE	UND	43	6977.3	1493503.44	92.8%	B	
1A	AC20VBGC1000	GRIFO CON CONEXIÓN MANGUERA ORIENTABLE 131-1/2"	UND	40	591.4	1494094.84	92.9%	B	
1A	AC20VCBRF505	VALVULA DE COMPUERTA DE BRONCE, PN10/PN16 155-1	UND	40	488	1494582.84	92.9%	B	
1A	E103P2032001	CAJA DE CONTROL PARA MOTOR SUMERGIBLE 2.0 h.p. Q8	UND	39	6987.75	1501570.59	93.3%	B	
1A	PI05C801AA05	BOQUILLA DIRECCIONAL CUSTON MOLDING DE 1/2" (54007)	UND	38	612	1502182.59	93.4%	B	
1A	E101P2021081	ELECTROBOMBA PEDROLLO 0.85 h.p. CENTRIFUGA CPM 6	UND	38	12171.6	1514354.19	94.1%	B	
1A	RAP220101006	IMPULSOR PARA BOMBAS MODELO 4SR33G (4SR6)	UND	36	760	1515114.19	94.2%	B	
1A	AC20VBID9200	VALVULA DE BOLA PASO TOTAL - LONDON 066-1/2" MAN	UND	30	348.3	1515462.49	94.2%	B	
1A	E101B7011051	ELECTROBOMBA PERIFERICA BOTT'S MOD. Q860K (220V. 4)	UND	28	3206.48	1518668.97	94.4%	B	
1A	PI05P101AA14	BOQUILLA DIRECCIONAL PENTAIR DE 1/2" (540014)	UND	28	271.5	1518940.47	94.4%	B	
1A	AC04L101MA12	MANOMETRO "LUISE" 0 - 12 BAR (0-175 PSI)	UND	27	310	1519250.47	94.4%	B	
1A	E101P2031201	ELECTROBOMBA PEDROLLO 2.0 h.p. CENTRIFUGA CPM 66	UND	27	25362.36	1544612.83	96.0%	B	
1A	E195JK323257	JINKO 325 Wp. POLICRISTALINO (JKM325PP-72)	UND	25	12260	1556872.83	96.8%	C	
1A	AC20PCFC1401	CHECK PIE 0/CANASTILLA BCE 1TAP-140 1"	UND	24	856.4	1557229.23	96.8%	C	
1A	PI05P101AA07	BOQUILLA DIRECCIONAL PENTAIR DE 3/8" (540007)	UND	22	281.16	1557510.39	96.8%	C	
1A	AC20VBID9203	VALVULA DE RETENCION YORK 103-1/2"	UND	20	163.2	1557673.59	96.8%	C	
1A	E101P2051071	ELECTROBOMBA PEDROLLO JET AUTOCEBANTE 0.7 h.p. JS	UND	18	7310	1564983.59	97.3%	C	
1A	M204P2130510	ELECTROBOMBA PEDROLLO 4SR13G/5 Monofásica 0.5 hp	UND	15	17065.5	1582049.09	98.3%	C	
1A	M204P2330301	ELECTROBOMBA PEDROLLO 4SR33G/30 Monofásica 3 hp.	UND	13	22865	1604914.09	99.7%	C	
1A	PI05C801AA07	BOQUILLA DIRECCIONAL CUSTON MOLDING DE 3/4" (2555)	UND	12	180	1605094.09	99.8%	C	
1A	AC20VBID9005	VALVULA DE BOLA, PASO TOTAL IDEAL 090-1/2"	UND	12	110.76	1605204.85	99.8%	C	
1A	PI03EXF10207	REFLECTOR EMAUX PISCINA CONCRETO LED F20 1 WTS. 1	UND	9	3847.5	1609052.35	100.0%	C	

Nota. Elaboración propia.



**Tabla 4***Inventario de almacén por zona*

	ZONA	NRO.ELEMENTOS	%ARTICULOS	%ACUMUL.	%INVERSION	% INV.A.
<b>0-80%</b>	<b>A</b>	7	17.95%	17.95%	74.00%	74.00%
<b>80-95%</b>	<b>B</b>	22	56.41%	74.36%	22%	96.00%
<b>95-100%</b>	<b>C</b>	10	25.64%	100.00%	4.0%	100.00%
	Total	39	100.00%		100.00%	

*Nota.* Elaboración propia**Figura 5***Diagrama de inventario por zonas**Nota.* Elaboración propia

Nosotros nos centraremos en los productos que dependen de nuestro proveedor principal Pedrollo spa., el cual al ser un proveedor líder en su rubro a nivel mundial y nosotros al tener la representación a nivel nacional y en el caso de Bonnett Oriente la representación en todo el oriente peruano en

departamentos como Loreto, Ucayali, San Martín, Huánuco, Madre de Dios, Amazonas donde tenemos representatividad por nuestros distribuidores.

### **Pronóstico de la demanda**

#### ***PKm60***

Se pudo recolectar información de los 5 productos a trabajar en el presente trabajo. Se empezará con las cajas de insertos vendidas en los 2 últimos años:

**Tabla 5**

*Cantidad de cajas vendidas en los 2 últimos años (PKm60)*

<b>Meses</b>	<b>Periodo Tiempo=X</b>	<b>Cajas Vendidas =Y</b>
Nov-18	1	854
Dic-18	2	861
Ene-19	3	850
Feb-19	4	881
Mar-19	5	913
Abr-19	6	912
May-19	7	914
Jun-19	8	900
Jul-19	9	920
Ago-19	10	935
Set-19	11	940
Oct-19	12	945
Nov-19	13	943
Dic-19	14	951
Ene-20	15	956
Feb-20	16	982
Mar-20	17	990

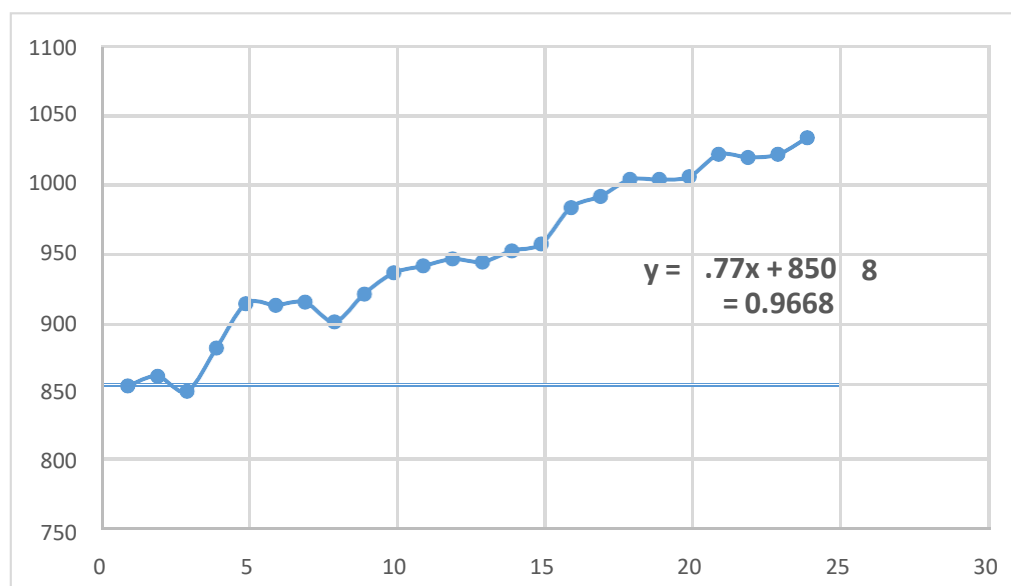
Abr-20	18	1002
May-20	19	1002
Jun-20	20	1004
Jul-20	21	1020
Ago-20	22	1018
Set-20	23	1020
Oct-20	24	1032
Nov-20	25	
Dic-20	26	

*Nota.* Elaboración propia

Se grafica los puntos de tiempo o períodos en Excel y evaluamos la línea de tendencia, el R cuadrado y la ecuación de la recta para la regresión lineal.

**Figura 6**

*Cajas vendidas por mes (PKm 60)*



*Nota.* Elaboración propia

Como el R cuadrado es mayor a 0,70 podemos decir que la ecuación de regresión lineal puede darnos un buen pronóstico con respecto al total de cajas vendidas por mes. La ecuación de pronóstico basada en regresión lineal queda de la siguiente manera:  $Y = 850.58 + 7.77 * X$

Donde:

Y = Total de cajas vendidas de Insertos en el mes X

X= Número de mes en la serie de tiempo, donde noviembre del 2018 representa X= 1 y octubre del 2020 representa X= 24.

Para pronosticar las ventas de los primeros 5 meses del 2020 de insertos, tomamos X = 27 hasta X=31

Coeficiente de X= 7,77

Coeficiente independiente = 850,58

### Tabla 6

*Pronóstico de ventas de 5 meses del 2021 de PKm60*

Meses	Periodo Tiempo = X	Cajas vendidas = Y
Ene-21	27	1060
Feb-21	28	1068
Mar-21	29	1076
Abr-21	30	1084
May-21	31	1091

*Nota.* Elaboración propia

Esos 5 valores finales servirán como datos de entrada para nuestra demanda máxima en el modelo de programación lineal.

**CPm620****Tabla 7***Cantidad de cajas vendidas en los 2 últimos años (CPm620)*

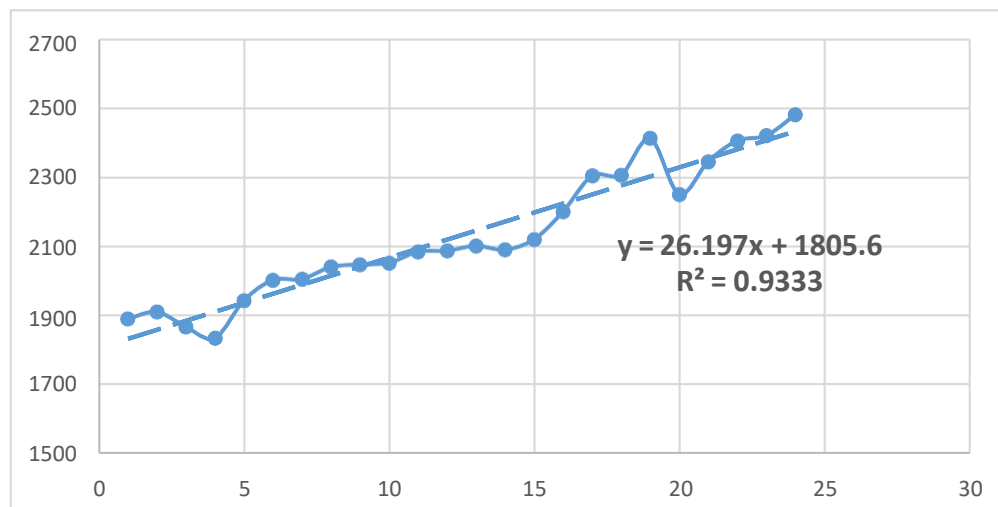
<b>Meses</b>	<b>Periodo Tiempo = X</b>	<b>Cajas vendidas = Y</b>
Nov-18	1	1890
Dic-18	2	1910
Ene-19	3	1867
Feb-19	4	1834
Mar-19	5	1943
Abr-19	6	2002
May-19	7	2005
Jun-19	8	2040
Jul-19	9	2047
Ago-19	10	2052
Set-19	11	2084
Oct-19	12	2087
Nov-19	13	2101
Dic-19	14	2090
Ene-20	15	2120
Feb-20	16	2200
Mar-20	17	2304
Abr-20	18	2306
May-20	19	2412
Jun-20	20	2250
Jul-20	21	2345
Ago-20	22	2405
Set-20	23	2420
Oct-20	24	2480
Nov-20	25	
Dic-20	26	

*Nota.* Elaboración propia

Se grafica los puntos de tiempo o períodos en Excel y evaluamos la línea de tendencia, el R cuadrado y la ecuación de la recta para la regresión lineal.

**Figura 7**

*Cajas Vendidas x Mes (CPm 620)*



*Nota.* Elaboración propia

Como el R cuadrado es mayor a 0,70 podemos decir que la ecuación de regresión lineal puede darnos un buen pronóstico con respecto al total de cajas vendidas de CPm 620 por mes. La ecuación de pronóstico basada en regresión lineal queda de la siguiente manera:

$$Y = 1805.6 + 26.197 * X \quad (9)$$

Donde:

Y = Total de cajas vendidas de CPm 620 en el mes X

X= Número de mes en la serie de tiempo, donde noviembre del 2017 representa X= 1 y octubre del 2019 representa X= 24.

Para pronosticar las ventas de los primeros 5 meses del 2020 de CPm 620, tomamos  $X = 27$  hasta  $X=31$ .

**Tabla 8**

*Pronóstico de ventas de CPm 620*

Coeficiente de X =		26.197
Coeficiente independiente =		1805.6
Meses	Periodo Tiempo = X	Cajas vendidas = Y
Ene-21	27	2513
Feb-21	28	2539
Mar-21	29	2565
Abr-21	30	2592
May-21	31	2618

*Nota.* Elaboración propia

Esos 5 valores finales servirán como datos de entrada para nuestra demanda máxima en el modelo de programación lineal.

#### **4sr25G/10**

**Tabla 9**

*Cantidad de cajas vendidas en los 2 últimos años (4sr25G/10)*

Meses	Periodo Tiempo = X	Cajas vendidas = Y
Nov-18	1	1650
Dic-18	2	1680
Ene-19	3	1597
Feb-19	4	1687
Mar-19	5	1685
Abr-19	6	1740

May-19	7	1780
Jun-19	8	1809
Jul-19	9	1745
Ago-19	10	1785
Set-19	11	1856
Oct-19	12	1921
Nov-19	13	1890
Dic-19	14	1888
Ene-20	15	1920
Feb-20	16	1943
Mar-20	17	1946
Abr-20	18	1995
May-20	19	2010
Jun-20	20	2025
Jul-20	21	2023
Ago-20	22	1949
Set-20	23	2101
Oct-20	24	2045
Nov-20	25	
Dic-20	26	

---

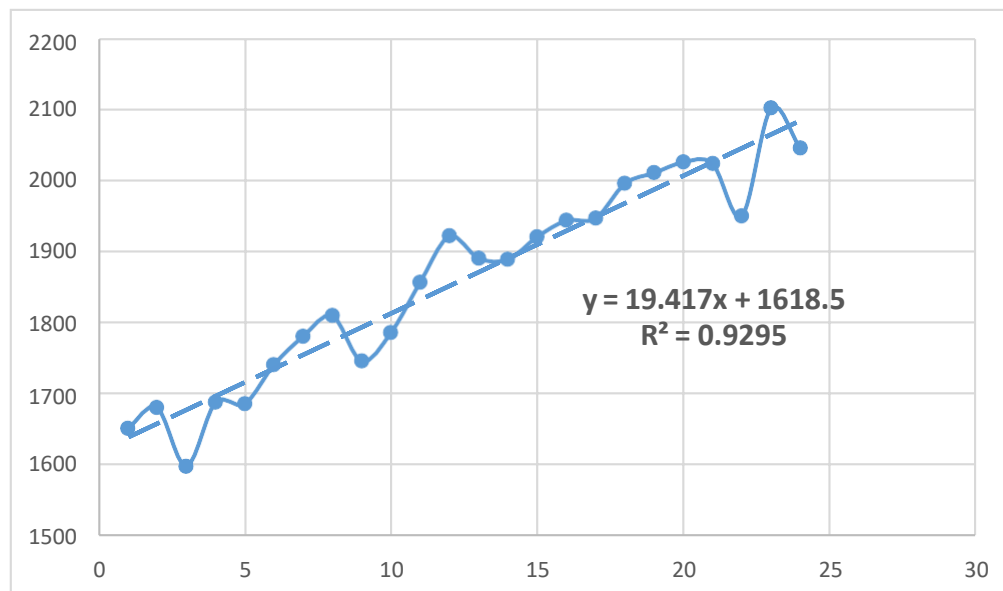
*Nota.* Elaboración propia

Se grafica los puntos de tiempo o períodos en Excel y evaluamos la línea de tendencia, el R cuadrado y la ecuación de la recta para la regresión lineal.



**Figura 8**

*Cajas vendidas x mes (4sr25g/10)*



*Nota.* Elaboración propia

Como el R cuadrado es mayor a 0,70 podemos decir que la ecuación de regresión lineal puede darnos un buen pronóstico con respecto al total de cajas vendidas de 4SR25G/10 por mes. La ecuación de pronóstico basada en regresión lineal queda de la siguiente manera:

$$Y = 1618.5 + 19.417 * X \quad (10)$$

Donde:

Y = Total de cajas vendidas de 4sr25g/10 en el mes X

X= Número de mes en la serie de tiempo, donde noviembre del 2017 representa X= 1 y octubre del 2019 representa X= 24.

Para pronosticar las ventas de los primeros 5 meses del 2020 de 4sr25g/10, tomamos X = 27 hasta X=31

**Tabla 10***Pronóstico de ventas de 4SR25G/10*

Coeficiente de X =		19.417
Coeficiente independiente =		1618.5
Meses	Periodo Tiempo = X	Cajas vendidas = Y
Ene-21	27	2143
Feb-21	28	2162
Mar-21	29	2182
Abr-21	30	2201
May-21	31	2220

*Nota.* Elaboración propia

Esos 5 valores finales servirán como datos de entrada para nuestra demanda máxima en el modelo de programación lineal.

A manera de resumen se tiene la siguiente demanda máxima de los 3 productos para los próximos 5 meses iniciales del 2020.

**Tabla 11***Demanda máxima de 3 productos (en cajas)*

Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
<i>PKm 60</i>	1060	1068	1076	1084	1091
<i>CPm 620</i>	2513	2539	2565	2592	2618
<i>4SR25G/10</i>	2143	2162	2182	2201	2220

*Nota.* Elaboración propia

Y para la demanda mínima a cubrir, la empresa desea que se tenga una demanda cubierta de por lo menos el 60% de lo pronosticado. Es decir, la tabla de demanda mínima quedaría de la siguiente manera, para los 3 productos:

**Tabla 12***Demanda mínima de 3 productos (en cajas)*

<b>Productos</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
<i>PKm 60</i>	636	641	646	650	655
<i>CPm 620</i>	1508	1523	1539	1555	1571
<i>4SR25G/10</i>	1286	1297	1309	1321	1332

*Nota.* Elaboración propia

Ambas tablas servirán de información para el desarrollo del caso de programación lineal a plantear en los siguientes puntos.

### **Desarrollo del Caso**

En base a lo explicado en la definición del problema y de las variables que tiene el modelo, se procedió a la recolección de información la cual dio como resultado un conjunto de tablas o datos de entrada que sirven como información o DATA para el modelo a formular.

### **Productos y Horizonte de Tiempo**

Para el presente trabajo se eligió los 3 principales productos de la empresa, de los cuales también se pudo recolectar más información.

Dichos productos son:

- Cajas de PKm 60. Cada inserto de 25 x40 cm y en cada caja se tienen 15 piezas.
- Caja de CPm 620. Cada caja es de 6x40 cm y en cada caja se tienen 40 piezas.
- Caja de 4sr25g/10 Cada caja de 8.7 x 45 cm y en cada caja se tienen 24 piezas.

El tiempo de planificación y producción elegido para el presente trabajo es de 5 meses del próximo año. Se trabajó una demanda pronosticada en base al histórico de 2 años anteriores, con respecto a los 3 productos elegidos. Dichos meses son: enero, febrero, marzo, abril y mayo del 2021.

### **Demanda mínima y máxima**

En base a las proyecciones realizadas en el punto anterior de la demanda de PKm 60, CPm 620 y 4SR25G/10 se consiguió las 2 tablas para la demanda máxima y para la demanda mínima de los 3 productos y para la demanda mínima a cubrir, la empresa desea que se tenga una demanda cubierta de por lo menos el 60% de lo pronosticado. Es decir, la tabla de demanda mínima quedaría de la siguiente manera:

Esta información servirá de data de entrada para el modelo.

**Tabla 13**

*Demanda máxima de 3 productos al 60% (en cajas)*

<b>Productos</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
<i>PKm 60</i>	1060	1068	1076	1084	1091
<i>CPm 620</i>	2513	2539	2565	2592	2618
<i>4SR25G/10</i>	2143	2162	2182	2201	2220

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 14**

*Demanda mínima de 3 productos al 60% (en cajas)*

<b>Productos</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
<i>PKm 60</i>	636	641	646	650	655
<i>CPm 620</i>	1508	1523	1539	1555	1571
<i>4SR25G/10</i>	1286	1297	1309	1321	1332

*Nota.* Elaboración propia

### Capacidad de almacenamiento

La empresa permite el almacenamiento de productos terminados, con lo cual se hizo imprescindible conseguir información de la capacidad de los almacenes de productos terminados. Luego de algunos datos históricos y a la planificación futura del área de producción se pudo recolectar datos con respecto a la capacidad de almacenamiento de cada producto, es decir, cuantas cajas como máximo pueden entrar en los almacenes dependiendo el producto y el mes que se decida almacenar.

**Tabla 15**

*Capacidad de almacenes para los 3 productos (en cajas)*

<b>Productos</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
<i>PKm 60</i>	300	300	50	200	200
<i>CPm 620</i>	300	300	50	200	200
<i>4SR25G/10</i>	300	300	50	200	200

*Nota.* Elaboración propia

### Capacidad de Almacenamiento de bombas

El precio de los productos por parte de los proveedores no es fijo, y puede ir variando a lo largo de un año, con lo cual la empresa en ocasiones opta por comprar en cada mes una cantidad mayor de productos para poder almacenarla. Sin embargo, la capacidad para almacenar los productos es limitada y en base a ello se obtuvo información de la capacidad de almacén para dichas bombas.

**Tabla 16***Capacidad de almacén de MP (en kg)*

<b>Productos</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
<i>Impulsores (repuesto)</i>	400	400	300	500	500

*Nota.* Elaboración propia**Precios de Venta, Costos de Producción e Inventario**

Con el área comercial y de logística se pudo recolectar la información de los precios de venta por caja, así como sus costos de producto y del costo estimado de inventario por cada caja que se almacene decada producto en cada mes. Dicha información se expresa en nuevos soles.

**Tabla 17***Precios de venta (por caja)*

<b>Productos</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
<i>PKm 60</i>	25	30	25	25	30
<i>CPm 620</i>	75	80	75	75	80
<i>4SR25G/10</i>	45	50	45	45	50

*Nota.* Elaboración propia**Tabla 18***Costo de inventario (por caja)*

<b>Productos</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
<i>PKm 60</i>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
<i>CPm 620</i>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
<i>4SR25G/10</i>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

*Nota.* Elaboración propia

### Costos de Compra de Bombas y Almacenamiento

En base a la información del área de compras y los costos de las bombas, expresada en kg, así como el costo estimado de almacenar cada caja se resume en los siguientes 2 cuadros:

**Tabla 19**

*Costos de MP (por kg)*

<b>Productos</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
<i>Impulsores (repuesto)</i>	3.5	3.5	4	4	4.5

*Nota.* Elaboración propia

**Tabla 20**

*Costo de inventario de MP (costo por kg)*

<b>Productos</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>
<i>Impulsores (repuesto)</i>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4

*Nota.* Elaboración propia

Con la información recolectada de las variables de entrada y en base a la problemática definida para Bonnett Oriente SAC, se formulará el modelo de programación lineal que pretende obtener una planificación de pedido y de venta óptimo, así como el plan de compra de los productos.

### Modelo de Programación Lineal

El modelo se definirá de 5 bloques o componentes: Índices, Variables, Data, Función Objetivo y Restricciones.

## Índices

- $i=1,2,3$ (Tipo de producto)
- $j=1,2,3,4,5$ (Tipo de mes)

## Variables

Las variables principales del modelo son las siguientes:

- $X_{ij}$ = Cantidad de cajas del producto tipo  $i$  a pedir en el mes  $j$
- $Y_{ij}$ = Cantidad de cajas del producto tipo  $i$  a almacenar en el mes  $j$
- $V_{ij}$ = Cantidad de cajas del producto tipo  $i$  a vender en el mes  $j$
- $MP_j$ = Cantidad de kg a comprar de las bombas en el mes  $j$
- $Inv_j$ = Cantidad de kg a almacenar de las bombas en el mes  $j$

## Data

- Requerimiento  $i$ = Cantidad de materia prima que requiere una caja del producto  $i$
- $Costos\_MP_j$ = Costo de compra x kg de la materia prima en el mes  $j$
- $Costo\_InvMP_j$ = Costo de almacenamiento x kg de la materia prima en el mes  $j$
- $Almacen\_MP_j$ = Capacidad de almacenamiento de la materia prima en el mes  $j$
- $Demanda\_Min_{ij}$ = Demanda mínima a cubrir en cajas del producto  $i$  en el mes  $j$
- $Demanda\_Max_{ij}$ = Demanda máxima de cajas para el producto  $i$  en el mes  $j$
- $Capacidad_{ij}$ = Capacidad de producción para el producto  $i$  en el mes  $j$
- $Capacidad\_Alm_{ij}$ = Capacidad de almacenamiento para el producto  $i$  en el mes  $j$
- $Pventa_{ij}$ = Precio de Venta de cada caja del producto  $i$  en el mes  $j$
- $Costo\_Prod_{ij}$ = Costo de producción de cada caja del producto  $i$  en el mes  $j$
- $Costo\_Inv_{ij}$ = Costo de almacenamiento de cada caja del producto  $i$  en el mes  $j$



## Función Objetivo

La función objetivo se plantea como una maximización de las utilidades, donde se colocará primero el precio de venta o los ingresos obtenidos restando los costos de producción y los costos de inventario de todos los productos en los distintos meses, así como los costos de compra y de inventario de la materia prima.

La formulación queda de la siguiente manera:

$$\text{MAX} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^5 (P_{\text{venta}_{ij}} * V_{ij} - \text{Costo\_Prod}_{ij} * X_{ij} - \text{Costo\_Inv}_{ij} * Y_{ij}) - \sum_{j=1}^5 \text{Costos\_MP}_{jj} * \text{MP}_{jj} + \text{Costo\_InvMP}_{jj} * \text{Inv}_{jj}$$

## Restricciones

**Restricción tipo 1:** Se tiene que cubrir la demanda mínima de cada uno de los productos en cada mes.

$$V_{ij} \geq \text{Demanda\_min}_{ij}; \forall i = 1,2,3; \forall j = 1,\dots,5$$

**Restricción tipo 2:** Lo máximo a vender de cada producto en cada mes debe ser menor que la demanda máxima estimada.

$$V_{ij} \leq \text{Demanda\_max}_{ij}; \forall i = 1,2,3; \forall j = 1,\dots,5$$

**Restricción tipo 3:** Se dispone de una capacidad de producción limitada para cada producto en cada uno de los meses.

$$X_{ij} \leq \text{Capacidad}_{ij}; \forall i = 1,2,3; \forall j = 1,\dots,5$$

**Restricción tipo 4:** Se dispone de una capacidad de almacenamiento o de inventario para cada producto en cada uno de los meses.

$$Y_{ij} \leq \text{Capacidad\_Alm}_{ij}; \forall i=1,2,3; \forall j=1,\dots,5$$

**Restricción tipo 5:** El Inventario Final de producto terminado = Inventario Anterior + Productos Pedidos – Productos Vendidos

$$Y_{ij}=0+ X_{ij}-V_{ij}; \forall i=1,2,3; \forall j=1$$

$$Y_{ij}=Y_{ij-1}+ X_{ij}-V_{ij}; \forall i=1,2,3; \forall j \neq 1$$

**Restricción tipo 6:** Se dispone de una capacidad de almacenamiento o de inventario para cada uno de los meses para cada bomba.

$$\text{Inv}_j \leq \text{Almacen\_MP}_j; \forall j=1,\dots,5$$

**Restricción tipo 7:** El Inventario = Inventario Anterior + producto Comprado – producto vendido.

$$\text{Inv}_j = 0 + \text{MP}_j - \sum_{i=1}^3 \text{Requerimiento}_i * X_{ij}; \forall j=1$$

$$\text{Inv}_j = \text{Inv}_{j-1} + \text{MP}_j - \sum_{i=1}^3 \text{Requerimiento}_i * X_{ij}; \forall j \neq 1$$

**Restricción tipo 8:** No Negatividad

$$X_{ij} \geq 0 \text{ y enteros}$$

$$Y_{ij} \geq 0 \text{ y enteros}$$

$$V_{ij} \geq 0 \text{ y enteros}$$

(23)

$$\text{MP}_j \geq 0$$

(24)

$$\text{Inv } j \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, 3; \forall j = 1, \dots, 5$$

### Validaciones de la Propuesta de Solución

#### Modelo implementado en Lingo conectado a Excel

El modelo de programación lineal definido en el punto anterior se programa en el software Lingo en el cual se usará algunas sentencias:

- SETS: Permite definir los índices del modelo, así como asociar dichos índices con las variables y datos de entrada.
- DATA: Permite definir cuáles son los datos de entrada y de salida. Aquí se conecta la información de Excel con el modelo y valores de entrada de Lingo.
- @OLE: Función que permite la conexión Excel-Lingo y viceversa.
- @SUM: Función que representa la sumatoria en una fórmula.
- @FOR: Función que representa un bucle o la expresión "Para todo" en una fórmula.
- @GIN: Función que permite definir una variable como Entera.

El modelo tiene un total de 55 variables y 87 restricciones. La programación en Lingo queda de la siguiente manera:

Tabla 21

## Ingreso de datos al programa Lingo

```

Lingo 14.0 - [Lingo Model - CELIMA LINGO]
File Edit LINGO Window Help

SETS:
PRODUCTO/Insertos Listelos Zocalos/: REQUERIMIENTO;           !indice i;
MES/Ene Feb Mar Abr May/: MP,INV,COSTOS_MP,ALMACEN_MP,COSTO_INVMP;      !indice j;
AUXILIAR/1/:FO;           !indice auxiliar para poner la f obj;
FXM(PRODUCTO,MES):V,X,Y,DEMANDA_MIN,DEMANDA_MAX,CAPACIDAD,CAPACIDAD_ALM,PVENTA,COSTO_PROD,COSTO_INV; !indice ij;
ENDSETS

DATA:
REQUERIMIENTO,COSTOS_MP,ALMACEN_MP,DEMANDA_MIN,DEMANDA_MAX,CAPACIDAD,CAPACIDAD_ALM,PVENTA,COSTO_PROD,COSTO_INV,COSTO_INVMP=@OLE("EXCEL.XLSX");
@OLE("EXCEL.XLSX",V)= V;@OLE("EXCEL.XLSX",X)= X;@OLE("EXCEL.XLSX",Y)= Y;
@OLE("EXCEL.XLSX",MP)= MP;@OLE("EXCEL.XLSX",INV)= INV;@OLE("EXCEL.XLSX",FO)= FO;
ENDDATA

MAX = @SUM(PXM(I,J): PVENTA(I,J)*V(I,J) - COSTO_PROD(I,J)*X(I,J) -COSTO_INV(I,J)*Y(I,J) -@SUM(MES(J): COSTOS_MP(J)*MP(J)+COSTO_INVMP(J)*INV(J));

!Se debe cubrir la demanda mínima de cada producto en cada mes;
@FOR(PXM(I,J): V(I,J)>=DEMANDA_MIN(I,J));

!No se puede vender más de la demanda máxima de cada producto en cada mes;
@FOR(PXM(I,J): V(I,J)<=DEMANDA_MAX(I,J));

!La capacidad de PRODUCCION es limitada por cada tipo de producto y por mes;
@FOR(PXM(I,J): X(I,J)<=CAPACIDAD(I,J));

!La capacidad de almacen de productos terminados es limitada por producto y por mes;
@FOR(PXM(I,J): Y(I,J)<=CAPACIDAD_ALM(I,J));

!Inventario final = Inventario anterior + producido - vendido;
@FOR(PXM(I,J) | J#EQ#1: Y(I,J)= 0 + X(I,J) - V(I,J));
@FOR(PXM(I,J) | J#NE#1: Y(I,J)= Y(I,J-1) + X(I,J) - V(I,J));

!Capacidad de inventario de la MP;
@FOR(MES(J): INV(J)<= ALMACEN_MP(J));

!El inventario de materia prima = Inv anterior + comprado -requerimiento de mat prima en cada mes;
@FOR(MES(J) | J#EQ#1: INV(J)= 0 + MP(J) - @SUM(PRODUCTO(I): REQUERIMIENTO(I)*X(I,J)));
@FOR(MES(J) | J#NE#1: INV(J)= INV(J-1) + MP(J) - @SUM(PRODUCTO(I): REQUERIMIENTO(I)*X(I,J)));

FO(1) = @SUM(PXM(I,J): PVENTA(I,J)*V(I,J) - COSTO_PROD(I,J)*X(I,J) -COSTO_INV(I,J)*Y(I,J) -@SUM(MES(J): COSTOS_MP(J)*MP(J));

```

**Nota.** Elaboración propia

Para conectar Lingo con Excel se usa el comando @OLE en el programa desarrollado en LINGO. En Excel se preparó todas las tablas que se explican en el desarrollo del caso, las cuales se consideran los datos de entrada o matrices de información. Cada una de estas tablas deben ser definidas en Excel con nombres, los cuales son aquellos que le hemos dado como nombre en el modelo de Lingo.

Tabla 22

Excel de ingreso de los requerimientos solicitados en el estudio.

<b>Demanda Mínima</b> (En cajas)						<b>Precios de Venta</b> (X Caja)					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
<i>FKm 60</i>	636	641	646	650	655	<i>FKm 60</i>	25	30	25	25	30
<i>CFm 620</i>	1508	1523	1539	1555	1571	<i>CFm 620</i>	75	80	75	75	80
<i>4SR25G110</i>	1286	1297	1309	1321	1332	<i>4SR25G110</i>	45	50	45	45	50
<b>Demanda Máxima</b> (En cajas)						<b>Costos de Producción</b> (X Caja)					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
<i>FKm 60</i>	1060	1068	1076	1084	1091	<i>FKm 60</i>	15	15	18	18	15
<i>CFm 620</i>	2513	2539	2565	2592	2618	<i>CFm 620</i>	40	40	45	45	40
<i>4SR25G110</i>	2143	2162	2182	2201	2220	<i>4SR25G110</i>	25	25	30	30	25
<b>Capacidad de Producción</b> (En cajas)						<b>Requerimiento de MP</b> (En kg) MP=Impulsores (Repuestos)					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Productos	MP				
<i>FKm 60</i>	1300	1300	1000	1300	1300	<i>FKm 60</i>	0.6				
<i>CFm 620</i>	3000	3000	3000	2000	2500	<i>CFm 620</i>	1.5				
<i>4SR25G110</i>	2500	2500	2000	1800	1800	<i>4SR25G110</i>	0.35				
<b>Capacidad de Almacenes</b> (En cajas)						<b>Costos de MP</b> Costo x kg					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
<i>FKm 60</i>	300	300	50	200	200	<i>Impulsores (Repuesto)</i>	3.5	3.5	4	4	4.5
<i>CFm 620</i>	300	300	50	200	200						
<i>4SR25G110</i>	300	300	50	200	200						
<b>Costo de Inventario</b> (X Caja)						<b>Capacidad de Almacén de MP</b> (En kg)					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
<i>FKm 60</i>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	<i>Impulsores (Repuesto)</i>	400	400	300	500	500
<i>CFm 620</i>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5						
<i>4SR25G110</i>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5						
<b>Costo de Inventario de MP</b> Costo x kg											
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
<i>Impulsores (Repuesto)</i>	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4						

Nota. Elaboración propia

Estos datos iniciales son los “DATOS DE ENTRADA” del modelo. Algunos cambios en los datos de entrada hacen que el resultado del modelo y la función objetivo puedan variar. Por otro lado, para los datos de salida o la solución del modelo, la hoja resultados muestra la siguiente forma:

**Tabla 23**

*Datos de salida con la respuesta de requerimientos de Lingo a excel*

Plan de Ventas						Plan de Compras de MP					
(En cajas)						(En kg)					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Materia Prima	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
PKm 60						Impulsores (Repuesto)					
CPm 620											
4SR25G/10											
Plan de Producción						Plan de Inventarios de MP					
(En cajas)						(En kg)					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Materia Prima	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
PKm 60						Impulsores (Repuesto)					
CPm 620											
4SR25G/10											
Plan de Inventarios						VALOR DE LA UTILIDAD					
(En cajas)						TOTAL EN EL PERÍODO =					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo						
PKm 60											
CPm 620											
4SR25G/10											

*Nota.* Elaboración propia

Para que cada matriz de datos se compacte en Excel, se usa un conjunto de celdas y se etiqueta en base a los nombres que se han definido en el modelo de programación lineal tal como se mencionó. Para validar lo mencionado, se muestra los nombres de las celdas de datos que son los datos de entrada y salida del modelo formulado y se conectan en Lingo con la función @OLE dentro de la declaración de DATA.

Tabla 24

Resultados en carpeta para validar el modelo de Excel a Lingo

Nombre	Valor	Se refiere a	Ámbito	Comentario
ALMACEN_MP	{"400";"400";"300";"..."}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	
CAPACIDAD	{"1300";"1300";"100..."}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	
CAPACIDAD_ALM	{"300";"300";"50";"2..."}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	
COSTO_INV	{"1.5";"1.5";"1.5";"1..."}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	
COSTO_INVMP	{"0.5";"0.5";"0.5";"0..."}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	
COSTO_PROD	{"15";"15";"18";"18";"..."}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	
COSTOS_MP	{"3.5";"3.5";"4";"4";"4..."}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	
DEMANDA_MAX	{"1060";"1068";"107..."}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	
DEMANDA_MIN	{"636";"641";"646";"..."}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	
<b>FO</b>		=RESULTADOS!\$J\$15	Libro	
INV	{" ";" ";" ";" ";" ";"..."}	=RESULTADOS!\$I\$9...	Libro	
MP	{" ";" ";" ";" ";" ";"..."}	=RESULTADOS!\$I\$3...	Libro	
PVENTA	{"25";"30";"25";"25";"..."}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	
REQUERIMIENTO	{"0.6";"1.5";"0.35"}	= 'DATOS DE ENTRA...	Libro	

Se refiere a:  Cerrar

Nota. Elaboración propia

Por lo cual SE VALIDA que los datos que tomará el programa Lingo provienen de Excel, y a su vez los resultados que se obtengan en Lingo se mostrarán en Excel para obtener la solución óptima del modelo planteado.

### Solución e Interpretación de Resultados

Luego de ejecutar el modelo en Lingo, con el archivo "EXCEL" abierto, la solución mostrada en Excel y su interpretación es la siguiente:





- Esta solución óptima permite maximizar las utilidades de venta que asciende a un total de S/. 594,888.58

### Resultados en Lingo

El software Lingo también muestra la misma solución, pero de manera que las variables están expresadas como Xij, Vij y Yij. Además, se tiene los costos reducidos y los precios duales, así como los rangos de sensibilidad. Se interpretará algunos resultados. Tener en cuenta que nuestras variables son enteras, pero para poder obtener los rangos de sensibilidad se desactivó dicha condición en Lingo, sólo con el fin de interpretar los reportes Lingo.

### Costos Reducidos

Se analizará sólo aquellas variables que su Value=0, y tienen costos reducidos. Las demás variables si son distintas de cero es porque son parte de la solución óptima. Se analizará sólo algunos costos reducidos, ya que la interpretación es similar en los demás.

### Tabla 26

#### *Solución en Lingo de costos reducidos*

Variable	Value	Reduced Cost
INV ( ENE)	0.000000	0.400000
INV ( MAR)	0.000000	0.400000
INV ( MAY)	0.000000	4.900000
Y ( INSERTOS, MAR)	0.000000	1.500000
Y ( INSERTOS, ABR)	0.000000	4.200000
Y ( INSERTOS, MAY)	0.000000	19.200000
Y ( LISTELOS, ENE)	0.000000	1.500000
Y ( LISTELOS, MAY)	0.000000	78.000000
Y ( ZOCALOS, ENE)	0.000000	1.500000
Y ( ZOCALOS, MAY)	0.000000	51.500000

*Nota. Elaboración propia*

- INV(ENE): Si se deseara almacenar un kg de materia prima a fines de enero, por cada kg adicional la utilidad total se reduciría en 0.40 soles. Por otro lado, si se desea que INV(ENE) tome valor, su costo debe reducirse en 0.40 soles.
- INV(MAY): Si se deseara almacenar un kg de materia prima a fines de mayo, por cada kg adicional la utilidad total se reduciría en 4.90 soles. Por otro lado, si se desea que INV(MAY) tome valor, su costo debe reducirse en 4.90 soles.
- Y(INSERTOS,ABR): Si se deseara almacenar una caja de insertos a fines de abril, por cada caja la utilidad total se reduciría en 4.2 soles. Además, si se deseara que Y(insertos,abr) tome valor o sea parte de la solución óptima, su costo de inventario debe reducirse en 4.2 soles.
- Y(ZOCALOS,ENE): Si se deseara almacenar una caja del modelo 4sr25g/10 a fines de Enero, por cada caja la utilidad total se reduciría en 1.5 soles. Además, si se deseara que Y(Zocalos,Ene) tome valor o sea parte de la solución óptima, su costo de inventario debe reducirse en 1,5 soles.

### Precios Duales

En los precios duales se toma la parte del reporte Lingo que contiene a las restricciones, que contienen excesos u holguras, así como el dual Price. También se analizará sólo algunos precios duales.

**Tabla 27**

*Solución en Lingo que contiene holguras y precios duales*

Row	Slack or Surplus	Dual Price
DEM_MIN( INSERTOS, ENE)	424.0000	0.000000
DEM_MIN( INSERTOS, FEB)	427.0000	0.000000
DEM_MIN( INSERTOS, MAR)	430.0000	0.000000
DEM_MIN( INSERTOS, ABR)	434.0000	0.000000
DEM_MIN( INSERTOS, MAY)	436.0000	0.000000
DEM_MIN( LISTELOS, ENE)	1005.000	0.000000
DEM_MIN( LISTELOS, FEB)	1016.000	0.000000
DEM_MIN( LISTELOS, MAR)	1026.000	0.000000
DEM_MIN( LISTELOS, ABR)	377.0000	0.000000
DEM_MIN( LISTELOS, MAY)	1047.000	0.000000
DEM_MIN( ZOCALOS, ENE)	857.0000	0.000000

DEM_MIN( ZOCALOS, FEB)	865.0000	0.000000
DEM_MIN( ZOCALOS, MAR)	873.0000	0.000000
DEM_MIN( ZOCALOS, ABR)	329.0000	0.000000
DEM_MIN( ZOCALOS, MAY)	668.0000	0.000000
DEM_MAX( INSERTOS, ENE)	0.000000	7.900000
DEM_MAX( INSERTOS, FEB)	0.000000	11.40000
DEM_MAX( INSERTOS, MAR)	0.000000	4.600000
DEM_MAX( INSERTOS, ABR)	0.000000	4.600000
DEM_MAX( INSERTOS, MAY)	0.000000	12.30000
DEM_MAX( LISTELOS, ENE)	0.000000	29.75000
DEM_MAX( LISTELOS, FEB)	0.000000	34.75000
DEM_MAX( LISTELOS, MAR)	0.000000	24.00000
DEM_MAX( LISTELOS, ABR)	660.0000	0.000000
DEM_MAX( LISTELOS, MAY)	0.000000	3.500000
DEM_MAX( ZOCALOS, ENE)	0.000000	18.77500
DEM_MAX( ZOCALOS, FEB)	0.000000	23.77500
DEM_MAX( ZOCALOS, MAR)	0.000000	13.60000
DEM_MAX( ZOCALOS, ABR)	551.0000	0.000000
DEM_MAX( ZOCALOS, MAY)	220.0000	0.000000
CAP_PROD( INSERTOS, ENE)	172.0000	0.000000
CAP_PROD( INSERTOS, FEB)	0.000000	1.500000
CAP_PROD( INSERTOS, MAR)	224.0000	0.000000
CAP_PROD( INSERTOS, ABR)	216.0000	0.000000
CAP_PROD( INSERTOS, MAY)	209.0000	0.000000
CAP_PROD( LISTELOS, ENE)	487.0000	0.000000
CAP_PROD( LISTELOS, FEB)	161.0000	0.000000
CAP_PROD( LISTELOS, MAR)	685.0000	0.000000
CAP_PROD( LISTELOS, ABR)	0.000000	24.00000
CAP_PROD( LISTELOS, MAY)	0.000000	29.75000
CAP_PROD( ZOCALOS, ENE)	357.0000	0.000000
CAP_PROD( ZOCALOS, FEB)	38.00000	0.000000
CAP_PROD( ZOCALOS, MAR)	68.00000	0.000000
CAP_PROD( ZOCALOS, ABR)	0.000000	13.60000
CAP_PROD( ZOCALOS, MAY)	0.000000	23.42500
CAP_ALM( INSERTOS, ENE)	232.0000	0.000000
CAP_ALM( INSERTOS, FEB)	0.000000	0.3000000
CAP_ALM( INSERTOS, MAR)	50.00000	0.000000
CAP_ALM( INSERTOS, ABR)	200.0000	0.000000
CAP_ALM( INSERTOS, MAY)	200.0000	0.000000
CAP_ALM( LISTELOS, ENE)	300.0000	0.000000
CAP_ALM( LISTELOS, FEB)	0.000000	4.250000
CAP_ALM( LISTELOS, MAR)	0.000000	22.50000
CAP_ALM( LISTELOS, ABR)	82.00000	0.000000
CAP_ALM( LISTELOS, MAY)	200.0000	0.000000
CAP_ALM( ZOCALOS, ENE)	300.0000	0.000000
CAP_ALM( ZOCALOS, FEB)	0.000000	3.675000
CAP_ALM( ZOCALOS, MAR)	0.000000	12.10000
CAP_ALM( ZOCALOS, ABR)	0.000000	3.500000
CAP_ALM( ZOCALOS, MAY)	200.0000	0.000000
CAP_ALM_MP( ENE)	400.0000	0.000000
CAP_ALM_MP( FEB)	0.000000	0.1000000
CAP_ALM_MP( MAR)	300.0000	0.000000
CAP_ALM_MP( ABR)	0.000000	0.1000000
CAP_ALM_MP( MAY)	500.0000	0.000000

**Nota.** Elaboración propia

- Dem\_Min(Zocalos,MAR): Surplus=873 y el precio dual=0. Por cada incremento o disminución en la demanda mínima de cajas del modelo 4sr25g/10 para marzo, no se afecta la utilidad total pues el dual es cero. El surplus 873 significa que se ha vendido 873 cajas por encima de la demanda mínima requerida para el producto en dicho mes.
- Dem\_Max(Insertos,MAY): Slack=0 y el precio dual=12.3. Por cada incremento o disminución en la demanda máxima de cajas de Insertos para mayo, la utilidad total se afectará en 12.3 soles. Si se incrementa, la utilidad aumenta en 12.3 y si disminuye la utilidad se reduce en 12.3 soles.
- Dem\_Max(Zócalos,MAR): Slack=0 y el precio dual=13.6. Por cada incremento o disminución en la demanda máxima de cajas del modelo 4sr25g/10 para marzo, la utilidad total se afectará en 13.6 soles. Si se incrementa, la utilidad aumenta en 13.6 y si disminuye la utilidad se reduce en 13.6 soles.
- Cap\_Prod(Listelos,MAY): Slack=0 y el precio dual=29.75. Por cada incremento o disminución en la capacidad máxima de producción para cajas de CPm 620 en mayo, la utilidad total se afectará en 29.75 soles. Si la capacidad se incrementa, la utilidad aumenta en 29.75 y si disminuye la utilidad se reduce en 29.75 soles por caja.
- Cap\_Alm(Listelos,ENE): Slack=300 y el precio dual=0. Por cada incremento o disminución en la capacidad máxima de almacenamiento para cajas de CPm 620 en enero, la utilidad total no se afectará. Existe un sobrante de capacidad de 300 cajas que no se usan en dicho mes para las cajas de CPm 620.
- Cap\_Alm\_MP(ABR): Slack=0 y el precio dual=0.10. Por cada incremento o disminución en la capacidad máxima de almacenamiento para la materia prima en el mes de abril, la utilidad total se afecta en 0.10. Si la capacidad aumenta, la utilidad se incrementa en 0.10 soles, y si disminuye la utilidad total se reducen en 0.10 soles.

### Rangos de los Coeficientes de la Función Objetivo

Se interpretan los rangos de los coeficientes definidos de la función objetivo para ver los límites de variación para que la solución óptima no cambiará.

**Tabla 28**

#### *Rangos de coeficientes de función objetivo*

<b>Variable</b>	<b>Current Coefficient</b>	<b>Allowable Increase</b>	<b>Allowable Decrease</b>
MP ( ENE)	-3.500000	0.4000000	0.5000000
MP ( FEB)	-3.500000	INFINITY	0.1000000
MP ( MAR)	-4.000000	0.1000000	7.666667
MP ( ABR)	-4.000000	7.000000	0.1000000
MP ( MAY)	-4.500000	0.1000000	7.000000
INV ( ENE)	-0.4000000	0.4000000	INFINITY
INV ( FEB)	-0.4000000	INFINITY	0.1000000
INV ( MAR)	-0.4000000	0.4000000	INFINITY
INV ( ABR)	-0.4000000	INFINITY	0.1000000
INV ( MAY)	-0.4000000	4.900000	INFINITY
V ( INSERTOS, ENE)	25.00000	INFINITY	7.900000
V ( INSERTOS, FEB)	30.00000	INFINITY	11.40000
V ( INSERTOS, MAR)	25.00000	INFINITY	4.600000
V ( INSERTOS, ABR)	25.00000	INFINITY	4.600000
V ( INSERTOS, MAY)	30.00000	INFINITY	12.30000
V ( LISTELOS, ENE)	75.00000	INFINITY	29.75000
V ( LISTELOS, FEB)	80.00000	INFINITY	34.75000
V ( LISTELOS, MAR)	75.00000	INFINITY	24.00000
V ( LISTELOS, ABR)	75.00000	3.500000	22.50000
V ( LISTELOS, MAY)	80.00000	INFINITY	3.500000
V ( ZOCALOS, ENE)	45.00000	INFINITY	18.77500
V ( ZOCALOS, FEB)	50.00000	INFINITY	23.77500
V ( ZOCALOS, MAR)	45.00000	INFINITY	13.60000
V ( ZOCALOS, ABR)	45.00000	3.500000	12.10000
V ( ZOCALOS, MAY)	50.00000	INFINITY	3.500000
X ( INSERTOS, ENE)	-15.00000	1.500000	0.3000000
X ( INSERTOS, FEB)	-15.00000	INFINITY	1.500000
X ( INSERTOS, MAR)	-18.00000	0.3000000	4.600000
X ( INSERTOS, ABR)	-18.00000	4.200000	1.500000
X ( INSERTOS, MAY)	-15.00000	19.20000	4.200000
X ( LISTELOS, ENE)	-40.00000	1.500000	29.75000
X ( LISTELOS, FEB)	-40.00000	INFINITY	1.500000
X ( LISTELOS, MAR)	-45.00000	4.250000	22.50000
X ( LISTELOS, ABR)	-45.00000	INFINITY	24.00000
X ( LISTELOS, MAY)	-40.00000	INFINITY	29.75000
X ( ZOCALOS, ENE)	-25.00000	1.500000	18.77500
X ( ZOCALOS, FEB)	-25.00000	INFINITY	1.500000
X ( ZOCALOS, MAR)	-30.00000	3.675000	12.10000
X ( ZOCALOS, ABR)	-30.00000	INFINITY	13.60000
X ( ZOCALOS, MAY)	-25.00000	INFINITY	23.42500
Y ( INSERTOS, ENE)	-1.500000	1.500000	0.3000000
Y ( INSERTOS, FEB)	-1.500000	INFINITY	0.3000000

Y( INSERTOS, MAR)	-1.500000	1.500000	INFINITY
Y( INSERTOS, ABR)	-1.500000	4.200000	INFINITY
Y( INSERTOS, MAY)	-1.500000	19.20000	INFINITY
Y( LISTELOS, ENE)	-1.500000	1.500000	INFINITY
Y( LISTELOS, FEB)	-1.500000	INFINITY	4.250000
Y( LISTELOS, MAR)	-1.500000	INFINITY	22.50000
Y( LISTELOS, ABR)	-1.500000	29.75000	3.500000
Y( LISTELOS, MAY)	-1.500000	78.00000	INFINITY
Y( ZOCALOS, ENE)	-1.500000	1.500000	INFINITY
Y( ZOCALOS, FEB)	-1.500000	INFINITY	3.675000
Y( ZOCALOS, MAR)	-1.500000	INFINITY	12.10000
Y( ZOCALOS, ABR)	-1.500000	INFINITY	3.500000
Y( ZOCALOS, MAY)	-1.500000	51.50000	INFINITY

**Nota.** Elaboración propia

- MP(MAR): El costo de la materia prima por kilo en el mes de marzo puede aumentar en 0.10 o disminuir 7.67 soles como máximo, para que la solución óptima actual no cambie.
- INV(MAY): El costo de almacenar un kilo de materia prima en mayo puede aumentar en 4.90 o disminuir al infinito como máximo, para que la solución óptima actual no cambie.
- V(Listelos,MAR): El precio de venta para las cajas de CPm 620 en Marzo puede aumentar al infinito o disminuir en 24 soles como máximo, para que la solución óptima actual no cambie.
- X(Insertos,MAY): El costo de pedido para las cajas de PKm 60 en Mayo puede aumentar en 19.2 soles o disminuir en 4.2 soles como máximo, para que la solución óptima actual no cambie.
- Y(Zocalos,ENE): El costo de almacenar una caja de 4sr25g/10 el mes de Enero puede aumentar puede aumentar en 1.5 soles como máximo o disminuir al infinito, para que la solución óptima actual no cambie.

### Rangos de los lados derechos de las restricciones

Interpretaremos la variación posible de los lados derechos de las restricciones, para evaluar en que rango el precio dual no cambia y puede ser utilizado.

Tabla 29

## Variación de posibles restricciones

Row	Current RHS	Allowable Increase	Allowable Decrease
DEM_MIN( INSERTOS, ENE)	636.0000	424.0000	INFINITY
DEM_MIN( INSERTOS, FEB)	641.0000	427.0000	INFINITY
DEM_MIN( INSERTOS, MAR)	646.0000	430.0000	INFINITY
DEM_MIN( INSERTOS, ABR)	650.0000	434.0000	INFINITY
DEM_MIN( INSERTOS, MAY)	655.0000	436.0000	INFINITY
DEM_MIN( LISTELOS, ENE)	1508.000	1005.000	INFINITY
DEM_MIN( LISTELOS, FEB)	1523.000	1016.000	INFINITY
DEM_MIN( LISTELOS, MAR)	1539.000	1026.000	INFINITY
DEM_MIN( LISTELOS, ABR)	1555.000	377.0000	INFINITY
DEM_MIN( LISTELOS, MAY)	1571.000	1047.000	INFINITY
DEM_MIN( ZOCALOS, ENE)	1286.000	857.0000	INFINITY
DEM_MIN( ZOCALOS, FEB)	1297.000	865.0000	INFINITY
DEM_MIN( ZOCALOS, MAR)	1309.000	873.0000	INFINITY
DEM_MIN( ZOCALOS, ABR)	1321.000	329.0000	INFINITY
DEM_MIN( ZOCALOS, MAY)	1332.000	668.0000	INFINITY
DEM_MAX( INSERTOS, ENE)	1060.000	172.0000	424.0000
DEM_MAX( INSERTOS, FEB)	1068.000	172.0000	68.00000
DEM_MAX( INSERTOS, MAR)	1076.000	224.0000	430.0000
DEM_MAX( INSERTOS, ABR)	1084.000	216.0000	434.0000
DEM_MAX( INSERTOS, MAY)	1091.000	209.0000	436.0000
DEM_MAX( LISTELOS, ENE)	2513.000	487.0000	1005.000
DEM_MAX( LISTELOS, FEB)	2539.000	161.0000	1016.000
DEM_MAX( LISTELOS, MAR)	2565.000	685.0000	1026.000
DEM_MAX( LISTELOS, ABR)	2592.000	INFINITY	660.0000
DEM_MAX( LISTELOS, MAY)	2618.000	82.00000	118.0000
DEM_MAX( ZOCALOS, ENE)	2143.000	357.0000	857.0000
DEM_MAX( ZOCALOS, FEB)	2162.000	38.00000	865.0000
DEM_MAX( ZOCALOS, MAR)	2182.000	68.00000	873.0000
DEM_MAX( ZOCALOS, ABR)	2201.000	INFINITY	551.0000
DEM_MAX( ZOCALOS, MAY)	2220.000	INFINITY	220.0000
CAP_PROD( INSERTOS, ENE)	1300.000	INFINITY	172.0000
CAP_PROD( INSERTOS, FEB)	1300.000	68.00000	172.0000
CAP_PROD( INSERTOS, MAR)	1000.000	INFINITY	224.0000
CAP_PROD( INSERTOS, ABR)	1300.000	INFINITY	216.0000
CAP_PROD( INSERTOS, MAY)	1300.000	INFINITY	209.0000
CAP_PROD( LISTELOS, ENE)	3000.000	INFINITY	487.0000
CAP_PROD( LISTELOS, FEB)	3000.000	INFINITY	161.0000
CAP_PROD( LISTELOS, MAR)	3000.000	INFINITY	685.0000
CAP_PROD( LISTELOS, ABR)	2000.000	660.0000	377.0000
CAP_PROD( LISTELOS, MAY)	2500.000	118.0000	82.00000
CAP_PROD( ZOCALOS, ENE)	2500.000	INFINITY	357.0000
CAP_PROD( ZOCALOS, FEB)	2500.000	INFINITY	38.00000
CAP_PROD( ZOCALOS, MAR)	2000.000	INFINITY	68.00000
CAP_PROD( ZOCALOS, ABR)	1800.000	551.0000	329.0000
CAP_PROD( ZOCALOS, MAY)	1800.000	220.0000	668.0000
CAP_ALM( INSERTOS, ENE)	300.0000	INFINITY	232.0000
CAP_ALM( INSERTOS, FEB)	300.0000	172.0000	68.00000
CAP_ALM( INSERTOS, MAR)	50.00000	INFINITY	50.00000
CAP_ALM( INSERTOS, ABR)	200.0000	INFINITY	200.0000
CAP_ALM( INSERTOS, MAY)	200.0000	INFINITY	200.0000
CAP_ALM( LISTELOS, ENE)	300.0000	INFINITY	300.0000
CAP_ALM( LISTELOS, FEB)	300.0000	161.0000	300.0000
CAP_ALM( LISTELOS, MAR)	50.00000	660.0000	50.00000
CAP_ALM( LISTELOS, ABR)	200.0000	INFINITY	82.00000
CAP_ALM( LISTELOS, MAY)	200.0000	INFINITY	200.0000
CAP_ALM( ZOCALOS, ENE)	300.0000	INFINITY	300.0000
CAP_ALM( ZOCALOS, FEB)	300.0000	38.00000	68.00000
CAP_ALM( ZOCALOS, MAR)	50.00000	68.00000	50.00000
CAP_ALM( ZOCALOS, ABR)	200.0000	220.0000	200.0000
CAP_ALM( ZOCALOS, MAY)	200.0000	INFINITY	200.0000
CAP_ALM_MP( ENE)	400.0000	INFINITY	400.0000
CAP_ALM_MP( FEB)	400.0000	4214.300	400.0000
CAP_ALM_MP( MAR)	300.0000	INFINITY	300.0000

CAP_ALM_MP ( ABR)	500.0000	4534.600	500.0000
CAP_ALM_MP ( MAY)	500.0000	INFINITY	500.0000

**Nota.** Elaboración propia

- Dem\_Min(Insertos,MAY): La demanda mínima de cajas de PKm60 para el mes de mayo puede incrementarse en 436 como máximo o disminuir al infinito para que el precio dual de la restricción no cambie.
- Dem\_Min(Zocalos,ABR): La demanda mínima de cajas de 4sr25g/10 para el mes de Abril puede incrementarse en 329 como máximo o disminuir al infinito para que el precio dual de la restricción no cambie.
- Dem\_Max(Listelos,ENE): La demanda máxima de cajas de CPm 620 para el mes de Enero puede incrementarse en 487 cajas o disminuir en 1005 cajas como máximo para que el precio dual de la restricción no cambie.
- Cap\_Prod(Insertos,FEB): La capacidad de producción de cajas de PKm 60 para el mes de Febrero puede incrementarse en 68 cajas o disminuir en 172 cajas como máximo para que el precio dual de la restricción no cambie.
- Cap\_Prod(Zocalos,MAY): La capacidad de producción de cajas de 4sr25g/10 para el mes de Mayo puede incrementarse en 220 cajas o disminuir en 668 cajas como máximo para que el precio dual de la restricción no cambie.
- Cap\_Alm(Listelos,MAR): La capacidad de almacenamiento para las cajas de CPm 620 en Marzo puede incrementarse en 660 o disminuir en 50 cajas como máximo para que el precio dual de la restricción no cambie.
- Cap\_Alm\_MP(FEB): La capacidad de almacenamiento de kilos de materia prima en febrero puede incrementarse en 4214.3 o disminuir en 400 kg. como máximo para que el precio dual de la restricción no cambie.



## Generación de Escenarios

Se generarán 2 casos o escenarios con posibles cambios en la data de entrada del modelo, con la finalidad de validar que tan funcional es la conexión del software Lingo con Excel y observar la potencia que tiene el modelo planteado para generar nuevas soluciones a partir de la flexibilidad de la plantilla de datos.

**Escenario 1: Por temas de mantenimiento y mejora de equipos, la disponibilidad en la capacidad de pedir en los meses de marzo y abril se reducirán en 300 cajas para cada uno de los productos**

Para realizar el cambio mencionado, modificamos la data de entrada de la tabla en Excel asociada a la capacidad de pedido en marzo y abril.

**Tabla 30**

*Capacidad de pedido según el escenario 1 (en cajas)*

Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
<i>PKm 60</i>	1300	1300	700	1000	1300
<i>CPm 620</i>	3000	3000	2700	1700	2500
<i>4sr25g/10</i>	2500	2500	1700	1500	1800

*Nota.* Elaboración propia

Luego del cambio realizado se procede a ejecutar el modelo en Lingo. Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 31***Resultados del escenario 1*

<b>Plan de Ventas</b>						<b>Plan de Compras de MP</b>						
(En cajas)						(En kg)						
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Materia Prima	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	
PKm 60	1060	1068	1076	1084	1091	Impulsores	5196.35	6300.2	4214.3	4780.4	4534.6	
CPm 620	2513	2539	2565	1932	2618							
Asr25g/10	2143	2162	2182	1650	2000							
<b>Plan de Pedido</b>						<b>Plan de Inventarios de MP</b>						
(En cajas)						(En kg)						
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Materia Prima	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	
PKm 60	1128	1300	776	1084	1091	Impulsores	0	400	0	500	0	
CPm 620	2513	2839	2315	2000	2500							
Asr25g/10	2143	2462	1932	1800	1800							
<b>Plan de Inventarios</b>												
(En cajas)						VALOR DE LA UTILIDAD						
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	TOTAL EN EL PERÍODO =		<b>S/579,760.88</b>				
PKm 60	68	300	0	0	0							
CPm 620	0	300	50	118	0							
Asr25g/10	0	300	50	200	0							

*Nota.* Elaboración propia

- El nuevo plan de ventas, plan de producción e inventarios se muestra en la tabla 1,2 y 3 respectivamente. Con respecto al plan de compras e inventario de materia prima se muestra en las 2 tablas de la derecha.
- Básicamente esta solución se modificó en las ventas para PKm60 y CPm620 en los meses de marzo y abril. Lo mismo pasa en la cantidad a pedir esos meses de cada producto se modificó. El plan de inventarios de producto terminado y materia prima no se modificó, pero si la cantidad de materia prima a comprar sufrió variaciones en los meses de marzo y abril.
- Esta nueva solución óptima permite maximizar las utilidades de venta a un total de S/. 579,760.88.

**Escenario 2: Mediante una gestión de inventarios, la capacidad de almacenamiento se pudo incrementar en 100 cajas para cada tipo de producto en todos los meses.**

Para hacer efectivo el cambio mencionado, en la tabla de entrada lo que se relaciona con los costos de inventario se modifican.

**Tabla 32**

*Capacidad de almacenes según escenario 2 (en cajas)*

Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
PKm 60	400	400	150	300	300
CPm 620	400	400	150	300	300
4SR25g/10	400	400	150	300	300

*Nota.* Elaboración propia

Luego del cambio realizado se procede a ejecutar el modelo en Lingo. Los resultados obtenidos son los siguientes:

**Tabla 33**

*Resultados según escenario 2*

Plan de Ventas						Plan de Compras de MP					
(En cajas)						(En kg)					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Materia Prima	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
PKm 60	1060	1068	1076	1084	1091	Impulsores	5208.05	6463.5	4154.3	4780.4	4534.6
CPm 620	2513	2539	2565	1932	2618						
4sr25g/10	2143	2162	2182	1650	2000						
Plan de Pedido						Plan de Inventarios de MP					
(En cajas)						(En kg)					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Materia Prima	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
PKm 60	1228	1300	676	1084	1091	Impulsores	0	400	0	500	0
CPm 620	2513	2839	2315	2000	2500						
4sr25g/10	2205	2500	1932	1800	1800						
Plan de Inventarios						VALOR DE LA UTILIDAD					
(En cajas)						TOTAL EN EL PERÍODO =					
Productos	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	<b>S/ 599,428.08</b>					
PKm 60	168	400	0	0	0						
CPm 620	0	400	150	118	0						
4sr25g/10	0	400	150	300	0						

*Nota.* Elaboración propia

- El nuevo plan de ventas, plan de producción e inventarios se muestra en la tabla 1,2 y 3 respectivamente. Con respecto al plan de compras e inventario de materia prima se muestra en las 2 tablas de la derecha.
- Básicamente esta solución se modificó en las ventas para PKm60 y CPm 620 en los meses de marzo y abril. Lo mismo pasa en la cantidad a producir esos meses de cada producto se modificó. El plan de inventarios de producto terminado y materia prima no se modificó, pero si la cantidad de materia prima a comprar sufrió variaciones en los meses de marzo y abril.
- Esta nueva solución óptima permite maximizar las utilidades de venta a un total de S/. 599,428.08.

## CAPÍTULO V

### Conclusiones

- La utilidad máxima obtenida para el período de 5 meses en el modelo principal asciende a S/. 594,888.58
- Se obtuvo un plan de ventas, plan de pedido y plan de inventario para los 3 productos principales en los meses de enero a Mayo del 2021. A su vez se obtuvo cuantos kg de materia prima o repuestos adquirir en cada mes y cuantos kg almacenar de dicha materia prima en cada mes. Se recomienda implementar dicha solución a Bonnett Oriente.
- La recolección de información y los pronósticos realizados pudieron permitir contar con datos de entrada que sirvan como ingreso de datos en Excel lo cual es el insumo de parámetros para el modelo en Lingo.
- Se logró formular un modelo de programación lineal entera, que maximiza la utilidad de la empresa Bonnett Oriente en los próximos 5 meses para sus tres principales productos.
- Se consiguió crear una interfaz en Excel de manera amigable, que muestre la solución en cuadros de fácil lectura, haciendo amigable dicha interpretación para los tomadores de decisiones.
- La plantilla Excel Lingo permite flexibilidad al modelo, donde se pudo validar que, con algunos cambios o escenarios en los datos, de manera rápida se obtiene una nueva solución óptima.
- La programación lineal y la investigación de operaciones son de vital importancia para el desarrollo de modelos matemáticos y en contar con herramientas que ayuden en la toma de decisiones de las empresas de producción o distribución.

## CAPÍTULO VI

### Recomendaciones

- Tomando como punto de referencia el estudio realizado y para ampliar su panorama, se podría hacer un análisis de más productos para hallar resultados más próximos a la realidad de la empresa.
- Realizar evaluaciones de demanda de productos nos daría más profundidad sobre el estudio realizado que nos pueden ayudar a obtener mejores dividendos en una maximización de utilidad para la cadena de suministro.
- Al Ingresar más data nos ayudaría a obtener muchas más opciones de trabajo para el modelo y el software a utilizar que nos permita obtener otros resultados que sirvan en beneficio de la empresa.

## CAPÍTULO VII

### Referencias

- Acero L. (2017). *Aplicación de Método Simplex para un modelo en la producción de leche y sus derivados en pequeños y medianos productores*. Puno, Perú: Tesis.
- Anderson, D. (2019). *Métodos cuantitativos para los negocios – onceava edición*. Universidad de Guadalajara.
- Arce N., Quiroz W., Gutiérrez F., Tinedo L., y Piedra J. (2021). Minimización de la penalidad generada por los retrasos en la entrega de proyectos mediante un modelo de programación lineal entera. *Revista Científica Pakamuros*, 9(3), 110 -121. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i3.222>
- Cabrera Gil Grados E. (2017). *Modelos de programación lineal. Guía para su formulación y solución*. Universidad de Lima. Fondo Editorial.
- De La Cruz F. (2017). *Maximización de la producción de derivados lácteos. Caso: "Empresa Industrial Plemsa" S.A.*: Tesis.
- Hamdy T. (2012). *Investigación de Operaciones - Novena edición*. Pearson Educación. México. ISBN: 978-607-32-0796-6
- Montufar, A., Flores, H., Hein, N., López, J., Martínez, O., Miquel, S., Medina, J., Plá, L., Redchuk, A. y Santori, G. (2018). *Investigación de operaciones*. Grupo Editorial Patria.
- Ortiz Triana, V. K. y Caicedo Rolón A. J. (2011). *Plan óptimo de producción en una planta embotelladora de gaseosas optimal production plan in a soft drink bottling plant*. *Revista Ingeniería Industrial*- Año 11 N°1, 69-82, [https://www.researchgate.net/publication/266797934\\_PLAN\\_OPTIMO\\_DE\\_PRODUCCION\\_EN\\_UNA\\_PLANTA\\_EMBOTELLADORA\\_DE\\_GASEOSAS\\_OPTIMAL\\_PRODUCTION\\_P  
LAN\\_IN\\_A\\_SOFT\\_DRINK\\_BOTTLING\\_PLANT](https://www.researchgate.net/publication/266797934_PLAN_OPTIMO_DE_PRODUCCION_EN_UNA_PLANTA_EMBOTELLADORA_DE_GASEOSAS_OPTIMAL_PRODUCTION_PLAN_IN_A_SOFT_DRINK_BOTTLING_PLANT)

Quispe A. y Sánchez P. (2019). *Aplicación de la programación lineal para maximizar la eficiencia en hornos de recalentamiento, Empresa Siderúrgica del Perú S.A.A. Chimbote, 2018.* Chimbote, Perú: Tesis.

Reyes Vasquez, J. P. y Molina Velis, C. G. (2014). *Plan agregado de producción mediante el uso de un algoritmo de programación lineal: Un caso de Estudio.* Revista Politécnica, 34 (1), 108.  
[https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/view/254](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/254)

Salazar L. (10 de junio 2019). *Ingeniería Industrial Online.* <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/programacion-lineal-en-Lingo/>

Sánchez S. (2015). *Control de inventarios mediante programación lineal en la Empresa La Fortaleza Cía. Ltda.*: Tesis.

Tamayo García, A., & Urquiola García, I. (2016). *Design of a Process for Planning and Controlling Production by Using Mathematical Tools.* Revista de métodos cuantitativos para la economía y la empresa, 18, 130-145. ISSN: 1886-516X.  
<https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2208>

Winston, W. (2006). *Investigación de operaciones - Cuarta Edición.* Indiana University.



## CAPÍTULO VIII

### Anexo

#### Programa en Lingo: El cuál se anexa también como archivo

```

SETS:
PRODUCTO/Insertos Listelos Zocalos/: REQUERIMIENTO;           !indice i;
MES/Ene Feb Mar Abr May/: MP, INV, COSTOS_MP, ALMACEN_MP, COSTO_INVMP;
!indice j;
AUXILIAR/1/:FO;      !indice auxiliar para poner la f obj;
PXM(PRODUCTO,MES):V,X,Y, DEMANDA_MIN, DEMANDA_MAX, CAPACIDAD, CAPACIDAD_ALM, PVENT
A, COSTO_PROD, COSTO_INV; !indice ij;
ENDSETS

DATA:
REQUERIMIENTO, COSTOS_MP, ALMACEN_MP, DEMANDA_MIN, DEMANDA_MAX, CAPACIDAD, CAPACIDA
D_ALM, PVENTA, COSTO_PROD, COSTO_INV, COSTO_INVMP=@OLE("EXCEL.XLSX");
@OLE("EXCEL.XLSX",V)= V; @OLE("EXCEL.XLSX",X)= X; @OLE("EXCEL.XLSX",Y)= Y;
@OLE("EXCEL.XLSX",MP)= MP; @OLE("EXCEL.XLSX",INV)= INV; @OLE("EXCEL.XLSX",FO)=
FO;
ENDDATA

MAX = @SUM(PXM(I,J): PVENTA(I,J)*V(I,J) - COSTO_PROD(I,J)*X(I,J) -
COSTO_INV(I,J)*Y(I,J) ) -@SUM(MES(J):
COSTOS_MP(J)*MP(J)+COSTO_INVMP(J)*INV(J));

!Se debe cubrir la demanda mínima de cada producto en cada mes;
@FOR(PXM(I,J): [DEM_MIN] V(I,J)>=DEMANDA_MIN(I,J));

!No se puede vender más de la demanda máxima de cada producto en cada mes;
@FOR(PXM(I,J): [DEM_MAX] V(I,J)<=DEMANDA_MAX(I,J));

!La capacidad de PRODUCCION es limitada por cada tipo de producto y por mes;
@FOR(PXM(I,J): [CAP_PROD] X(I,J)<=CAPACIDAD(I,J));

!La capacidad de almacen de productos terminados es limitada por producto y
por mes;
@FOR(PXM(I,J): [CAP_ALM] Y(I,J)<=CAPACIDAD_ALM(I,J));

!Inventario final = Inventario anterior + producido - vendido;
@FOR(PXM(I,J) | J#EQ#1: [INV_PROD1] Y(I,J)= 0 + X(I,J) - V(I,J));
@FOR(PXM(I,J) | J#NE#1: [INV_PROD2] Y(I,J)= Y(I,J-1) + X(I,J) - V(I,J));

!Capacidad de inventario de la MP;
@FOR(MES(J): [CAP_ALM_MP] INV(J)<= ALMACEN_MP(J));

!El inventario de materia prima = Inv anterior + comprado -requerimiento de
mat prima en cada mes;
@FOR(MES(J) | J#EQ#1: [INV_MP1] INV(J)= 0 + MP(J) - @SUM(PRODUCTO(I):
REQUERIMIENTO(I)*X(I,J));
@FOR(MES(J) | J#NE#1: [INV_MP2] INV(J)= INV(J-1) + MP(J) - @SUM(PRODUCTO(I):
REQUERIMIENTO(I)*X(I,J));

```

```
FO(1) =@SUM(PXM(I,J): PVENTA(I,J)*V(I,J) - COSTO_PROD(I,J)*X(I,J) -  
COSTO_INV(I,J)*Y(I,J) -@SUM(MES(J):  
COSTOS_MP(J)*MP(J)+COSTO_INVMP(J)*INV(J));
```

```
!@FOR(PXM(I,J):@GIN(X(I,J)));  
!@FOR(PXM(I,J):@GIN(V(I,J)));
```

```
END
```