

**DECANATURA DE INGENIERÍA  
INDUSTRIAL  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
FORMATO DE ENTREGA TRABAJO DE  
GRADO**

**Fecha de entrega:** 13/12/2019

**Estudiante:** Rubén Darío Fajardo Bernal.

**Director:** Carlos Rodrigo Ruiz.

**Codirector:** No Aplica.

El presente documento avala la entrega del trabajo de grado por parte del director y codirector.

Documentos anexos Copia digital del Trabajo de Grado (1)

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'C. Ruiz', written over a horizontal line.

**Firma Director**

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Rubén Darío Fajardo Bernal', written over a horizontal line.

**Firma Estudiante**

# Desarrollo e implementación de un modelo de planeación para productos terminados y semielaborados de la Fábrica de Moneda.

Por

Rubén Darío Fajardo Bernal  
Ingeniería Industrial, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (2019)

Presentado al departamento de Maestría en Ingeniería Industrial en cumplimiento de los requisitos para la consecución del grado de

## **Master en Ingeniería Industrial**

de la

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO.

Diciembre 2019

©Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito 2019. Todos los derechos reservados.

Autor

.....  
Departamento de Maestría en Ingeniería Industrial  
**Diciembre 13, 2019**

Certificado por

.....  
**Carlos Rodrigo Ruiz**  
Profesor Titular  
Supervisor de Tesis

Aceptado por

.....  
**Sonia Alexandra Jaimes**  
Profesora Titular  
Directora de la Maestría en Ingeniería Industrial

### **Dedicatoria**

Este proyecto tiene la mano justa de Dios, quien está en cada decisión que tomo, gracias a mi familia, quien es la fuente de inspiración de cada uno de mis pasos, mis hermosas mujeres, mi esposa Yenny del Pilar y mis hijas Lorena Andrea y María Alejandra, de ellas aprendo en cada momento a ser mejor ser humano, estos ángeles día a día me dejan ver lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser.

### **Agradecimientos**

Son muchas las personas que han contribuido para lograr la finalización de este trabajo, sin embargo, quiero manifestar mi sincero agradecimiento al Ingeniero Carlos Ruiz por ser esa guía fundamental en el desarrollo de este trabajo, a la de Fábrica de Moneda, en especial al Ingeniero Jairo Naranjo, por su ayuda incondicional como profesional y como amigo, y por ultimo quiero agradecer especialmente al señor Ricardo Rodríguez por apoyarme en todo momento y por sus valiosos consejos.

## **Resumen**

Actualmente las empresas de producción, públicas o privadas, independiente de su tamaño o sector donde se encuentren, requieren definir modelos de planeación de operaciones que atiendan las necesidades generadas por un mercado cambiante y globalizado, de forma que permita afrontar dichos cambios de manera inmediata y con la flexibilidad adecuada para reducir el impacto en toda la cadena de producción y suministro.

El Banco de la República en sus Plantas de Industriales, no es ajeno a estos cambios y requiere en particular, que la Fábrica de Moneda mejore su proceso productivo con la implementación de un modelo matemático de operaciones que optimice los costos de producción de cada denominación, de acuerdo a las nuevas condiciones del Banco.

En este trabajo se plantea, después de muchos análisis, implementar la metodología Sales & Operations Planning (S&OP), el cual es un método de planificación con el que se persigue alinear las necesidades planteadas por el Departamento de Tesorería del Banco de la República, con la realidad logística y financiera de la Planta y, que derive en un programa de producción que optimice la correspondiente estimación de costos.

**Keywords—**SO&P, Modelos de Planeación de Operaciones.

### **Abstract**

Currently, production companies, public or private, independent of their size or sector where they are located, specifically define operational planning models that meet the needs generated by a changing and globalized market, so that they can face these changes immediately and with adequate flexibility to reduce the impact on the entire production and supply chain.

The Bank of the Republic in its Industrial Plants, is no stranger to these changes and requires in particular that the Currency Factory improve its production process with the implementation of a mathematical model of operations that optimizes the production costs of each denomination, according to the new conditions of the Bank.

This paper proposes, after many analyzes, to implement the Sales & Operations Planning (S&OP) methodology, which is a planning method that seeks to align the needs posed by the Treasury Department of the Banco de la República, with the logistical and financial reality of the Plant and, which results in a production program that optimizes the corresponding cost estimate.

Keywords—SO&P, Operations Planning Models.

## **Prefacio**

El Banco de la República (el Banco) es una entidad jurídica de derecho público, de rango constitucional, encargada de cumplir, en Colombia, las funciones de Banca Central. Para ello cuenta con autonomía administrativa, patrimonial y técnica. Su objetivo primordial es velar por el mantenimiento del poder adquisitivo de la moneda, para lo cual tiene las siguientes funciones principales, de acuerdo con la Constitución Política y la Ley:

1. Emitir la moneda legal en Colombia. Incluye su producción (impresión de billetes y acuñación de moneda metálica), importación, cambio, destrucción, distribución, emisión y puesta en circulación.
2. Ser banquero y prestamista de última instancia de los establecimientos de crédito.
3. Administrar las reservas internacionales del país, incluyendo su manejo, inversión, custodia y disposición.
4. Regular la moneda, los cambios internacionales y el crédito.
5. Actuar como agente fiscal del Gobierno.

La Subgerencia Industrial y de Tesorería desarrolla la parte correspondiente a la fabricación y emisión de la moneda legal colombiana; para tal efecto, se encarga de ejecutar las operaciones en materia de producción de billetes y monedas, su emisión y su

puesta en circulación a través de los bancos comerciales y sus ventanillas de atención al público.

Para cumplir con lo correspondiente a la fabricación de moneda metálica cuenta con una planta de producción ubicada en la ciudad de Ibagué, encargada de atender la demanda mensual estimada de moneda en cada una de las denominaciones con las cuales el Banco garantiza la necesidad de efectivo circulante necesario para el equilibrio financiero del país.

Por otro lado, además de garantizar el estricto cumplimiento del programa de producción, debe velar por unos costos de producción óptimos de cada una de las denominaciones, razón por la cual, teniendo en cuenta los costos fijos de la planta y su forma de distribución, exige que se maneje en cada ejercicio un plan de producción que permita este objetivo.

Por otro lado, por decisión de las altas Directivas del Banco de la Republica, se llevó a cabo en febrero de 2018, un cambio en el esquema de fabricación, para las primeras etapas del proceso productivo, el cual pasa de un esquema tercerizado a un esquema de producción con personal propio, complementándolo con procesos de importación de producto en proceso, con la finalidad de cumplir con directrices antes mencionadas.

Este nuevo esquema, plantea el reto de lograr definir un plan de producción que considere el costo unitario de fabricación, y efectué un análisis estratégico periódico de



costos, para ello el Banco cuenta con un sistema de información robusto que permite conocer en detalle la distribución de los costos en cada etapa del proceso productivo, así como su costo real al final de cada periodo, para ello dicho sistema soporta un esquema de costeo basado en clases de actividad para los costos fijos y para algunos elementos variables esto permite mejorar el control y la toma de decisiones (Hansen & Mowen, 2006).

Con estos retos logísticos y financieros, este documento permitirá la búsqueda de un modelo de planeación de operaciones para la Fábrica de Monedas, soportado en una solución informática, que permita plantear un plan producción de semielaborados y terminados, minimizando las ordenes fabricación y optimizando la capacidad utilizada y el uso de los recursos de la planta, de manera que pueda atender las necesidades de producto terminado definidas por el Departamento de Tesorería, esto permitirá el cumplimiento de estos objetivos y compromisos del Banco para con la nación y cada uno de los ciudadanos.

## Tabla de Contenidos

Capítulo 1 Introducción .....	14
1.1. Objetivo general.....	14
1.2. Objetivos específicos .....	15
1.3. Metodología .....	15
Capítulo 2 Descripción del Problema .....	19
1.4. Situación actual planeación de la producción.....	19
1.5. Descripción del Proceso Productivo Fabricación de Moneda Metálica .....	20
2.1.1. Fundición. ....	21
2.1.2. Laminación .....	22
2.1.3. Recocido de fleje.....	23
2.1.4. Troquelado .....	24
2.1.5. Rebordeo del cospel.....	25
2.1.6. Recocido del cospel .....	26
2.1.7. Lavado.....	27
2.1.8. Selección.....	28
2.1.9. Troquelado de cospel .....	29
2.1.10. Acuñación .....	29
2.1.11. Empaque .....	30
2.1.12. Control de calidad.....	31
Capítulo 3 Modelos matemáticos de planeación de producción.....	33
3.1. Planificación agregada .....	34
3.1.1. Proceso de la planeación agregada .....	35
3.1.2. Aspectos de la planeación agregada .....	37
3.2. S&OP .....	39
Capítulo 4 Desarrollo del modelo matemático para la planeación de producción .....	44
4.1. Conjuntos .....	44
4.2. Parámetros.....	46
4.3. Variables de decisión .....	49
4.4. Función objetivo .....	51
4.5. Restricciones.....	54
Capítulo 5 Resultados y pruebas computacionales.....	64
5.1. Infraestructura para realizar las corridas.....	64
5.2. Parámetro de corrida. ....	64
5.3. Resultados de la corrida.....	64
Capítulo 6 Implementación del modelo matemático. ....	74
Capítulo 7 Conclusiones. ....	78
Lista de referencias .....	83
Apéndice .....	85
Glosario de términos.....	85
Anexos .....	86
Diagrama del modelo matemático .....	86
Código GAMS utilizado para resolver el modelo.....	87



**Lista de tablas**

Tabla 1 Costo agregado fabricación de fleje adelgazado.....	66
Tabla 2 Costo agregado fabricación de fleje afinado.....	67
Tabla 3 Costo agregado fabricación de cospel y núcleo.....	67
Tabla 4 Costo agregado fabricación de moneda acuñada y corona cortada .....	68
Tabla 5 Costo agregado fabricación de moneda empacada .....	68
Tabla 6 Cálculo de las horas disponibles en Facos.....	69
Tabla 7 Cálculo de las horas disponibles en Acuñación.....	70
Tabla 8 Cálculo de las horas disponibles en Empaque .....	70
Tabla 9 Comparativo del Programa de Entregas y de Acuñación .....	71
Tabla 10 Comparativo del Programa de Producción de Fleje Adelgazado .....	72
Tabla 11 Comparativo del Programa de Producción de Fleje Afinado .....	72
Tabla 12 Comparativo del Programa de Producción de Cospel y Núcleo.....	73
Tabla 13 Análisis Diferencia Producción Cospel y Núcleo.....	73

### Lista de figuras

Figura No. 1 Diagrama metodológico del proyecto.....	16
Figura No. 2 Planta de fundición .....	22
Figura No. 3 Horno de fundición 1 .....	22
Figura No. 4 Horno de fundición 2 .....	22
Figura No. 5 Horno de fundición 3 .....	22
Figura No. 6 Sistema de extracción .....	22
Figura No. 7 Enrollado de fleje.....	22
Figura No. 8 Laminador Schmitz. Sistema reversible de laminación en frío .....	23
Figura No. 9 Hornos de recocido de fleje Ebner .....	24
Figura No. 10 Troqueladora Schuler .....	25
Figura No. 11 Punzonadora marca Linde .....	25
Figura No. 12 Malla sobrante del proceso .....	25
Figura No. 13 Rebordeadora Schuler.....	26
Figura No. 14 Horno de recocido de cospel .....	27
Figura No. 15 Máquina de lavado.....	28
Figura No. 16 Bandas de selección.....	29
Figura No. 17 Troqueladora y Acuñaadora Schuler .....	29
Figura No. 18 Área de Acuñaación de Moneda .....	30
Figura No. 19 Proceso de empaque de moneda.....	31
Figura No. 20 Proceso de control de calidad .....	32
Figura No. 21 Proceso de preparación de planes agregados.....	36
Figura No. 22 Agrupación de macro procesos para desarrollo del modelo .....	45
Figura No. 23 Necesidades globales de Tesorería .....	64
Figura No. 24 Pantalla de entrada simulador de costos .....	75
Figura No. 25 Pantalla del menú principal .....	75
Figura No. 26 Pantalla para la gestión de inventarios .....	76
Figura No. 27 Reportes de los costos calculados para un material.....	76
Figura No. 28 Diagrama del modelo matemático .....	86

## **Capítulo 1**

### **Introducción**

Como en muchas empresas, la Fábrica de Moneda dispone de un proceso formal de planificación agregada, que aplica año tras año para poder tener un plan detallado y así cumplir con las necesidades planteadas por el Departamento de Tesorería, ajustándolo lo suficiente para adaptarlo a la nueva demanda anual. Sin embargo, con los últimos cambios en la planta de personal y la decisión de importar algunos de los semielaborados que antes se fabricaban en la planta, ha vuelto esta actividad algo compleja y poco flexible, con la probabilidad de que el proceso completo puede estar dirigido a un mal desempeño. La literatura ofrece muchas investigaciones que ayudan en este proceso y varían en complejidad, siendo algunas más prácticas que otras. Este trabajo pretende dar una solución particular a la Fábrica que sea congruente con las metas y objetivos estratégicos del Banco.

#### **1.1. Objetivo general**

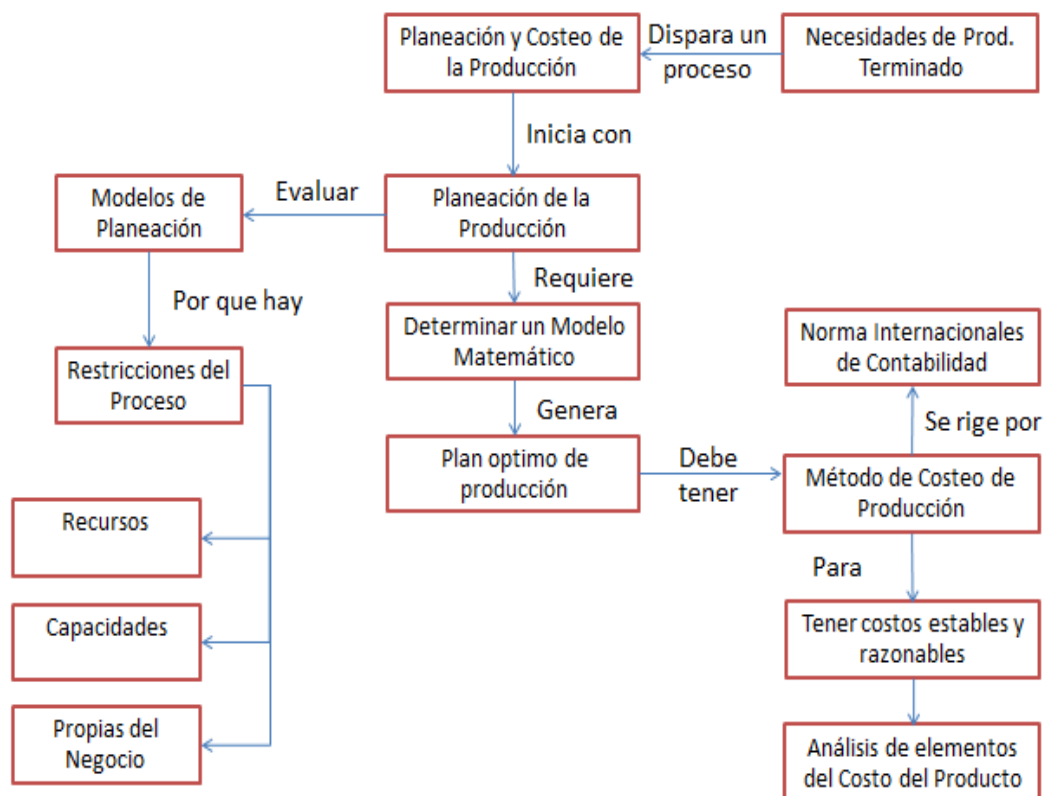
Desarrollar un modelo de planeación de operaciones para la Fábrica de Monedas del Banco de la República, soportado en una solución informática, que permita plantear un plan producción de semielaborados y terminados, balanceando las ordenes fabricación con la capacidad utilizada y el uso de los recursos de la planta, que permita atender las necesidades de producto terminado definidas por el Departamento de Tesorería.

## **1.2. Objetivos específicos**

- Realizar una revisión de literatura relacionada con modelos de planeación de operaciones y de esta manera identificar los factores más importantes del proceso, producto y planta que sean relevantes en el desarrollo del modelo.
- Establecer un modelo de planeación de operaciones, a partir de las necesidades de producto terminado de cada denominación, que permita un balance entre la capacidad de la planta y los periodos elaborados del año, minimizando los costos de producción.
- Desarrollar una solución informática para el plan de producción generado por el modelo matemático, que contemple las variables de modelo de costos aplicado por el sistema de información SAP que posee el Banco y que permita calcular el costo unitario de cada uno de los productos semielaborados y terminados.
- Aplicar el modelo y la solución desarrollada con datos de la Fábrica de Moneda, y así evaluar el desempeño del mismo en condiciones reales.

## **1.3. Metodología**

El diseño metodológico para el presente trabajo de grado estará encaminado a establecer el procedimiento válido para determinar el modelo de planeación. Este desarrollo metodológico depende de la problemática encontrada que tiene el Banco de la República con su planta industrial “Fábrica de Moneda” para la selección del modelo de planeación operacional.



*Figura No. 1 Diagrama metodológico del proyecto*

El trabajo de investigación a desarrollar consiste en la determinación del modelo de planeación operativa en la planta industrial Fábrica de Moneda, va encaminado al desarrollo teórico o experimental. Dado que el tipo de diseño es analítico y con un alcance determinado por los factores y variables de medición a recolectar de la investigación. A través de este enfoque teórico se busca: Realizar el modelo, solucionar el modelo y validar el modelo.

Todo lo anterior con el fin de mejorar el proceso de: cuantificación de las medidas de desempeño operativas, realización de la planeación de la producción, determinación de indicadores reales y proyectados, mejoramiento en el uso de los recursos físicos, el análisis de costos, entre otros.



Las Fuentes Primarias del presente proyecto estarán encaminadas a la recolección de la información a través de:

1. La observación en los procesos de la empresa.
2. Mediciones en planta en los diferentes procesos de la línea del área operativa.
3. Experimentación para la identificación del comportamiento de las variables de medición en este caso las medidas de desempeño necesarias para el diseño del modelo.

Igualmente es necesario aclarar que la Fábrica de Moneda no es la responsable de efectuar los pronósticos de producto terminado, ya que esta función la lleva a cabo el Departamento de Tesorería de la Subgerencia Industrial (SI-DTE) mediante sus modelos matemáticos avanzados y que producto de esto, la Fábrica recibe como insumo un plan mensual de entregas de monedas terminadas, detallado por denominación.

Además, con las cantidades mensuales requeridas por el DTE, se deberá evaluar varios modelos de programación especialmente Sales and Operation Planing (S&OP), se estima que el caso puntual de la Fábrica de Moneda se puede llegar a resolver con este método, por lo que S&OP podría ajustar los pronósticos del DTE con los requerimientos logísticos y financieros de la Planta. En la evaluación del modelo matemático se deberán tener en cuenta las diferentes restricciones del proceso tales como:

- Personal disponible de acuerdo al esquema de producción de los primeros procesos productivos implementado a partir de febrero de 2018.
- Utilización óptima de los reciclados generados en la planta.
- Condiciones del proceso de fundición de metales

Una vez evaluados los modelos matemáticos de planificación se validará cuál de ellos es el que permitiría obtener un plan óptimo de producción, esto se llevaría a cabo comparando los posibles resultados de estos planes generados por cada uno de los modelos revisados.

Encontrado el modelo que genera el plan óptimo de producción, se empezará a evaluar el método de costeo que será aplicado a dicho plan, para ello se analizarán los diferentes métodos existentes y las particularidades que aplican en Normas Internacionales de Información Financiera (NIIF) y que se deben tener en cuenta en cada uno de ellos. Establecido el método de costo, se analizarán los elementos de costo del producto a la luz de dicho método y por su puesto el costo unitario del producto, tanto semielaborado como terminado.

Finalmente se iniciará el desarrollo de la solución informática que plasme este modelo de costos en un simulador, que tome el plan óptimo de producción, lo aplique y pueda estimar el costo unitario a partir de cada uno de sus elementos para cada producto a lo largo del año.

## **Capítulo 2**

### **Descripción del Problema**

#### **1.4. Situación actual planeación de la producción**

Con el fin de garantizar que las necesidades del Departamento de Tesorería se cumplan en cantidad y tiempo determinados, tiene definido un proceso de planificación de producción, este proceso inicia en el segundo semestre de cada ejercicio con ocasión de la elaboración del presupuesto de operación y funcionamiento para el siguiente año, en donde se recibe las necesidades de moneda metálica estimadas por el dicho departamento.

Posterior al recibo de esta información, se procede a evaluar las cantidades y fechas de entrega requeridas, así como de establecer los estándares de capacidad de cada etapa del proceso, teniendo en cuenta el comportamiento histórico de producción. De igual forma se determinan los inventarios de seguridad de capa etapa, para que, dependiendo de la demanda, se determine si se puede atender por la Fábrica o es necesario incluir alguno de los materiales (cospel o fleje) en procesos de abastecimiento externo. Con estas actividades, se establece de común acuerdo unas cantidades que se puedan atender por parte de la Fábrica.

Posterior a ello, se determina la cantidad de fleje a fundir, se revisan los inventarios de metales puros, así como la cantidad de reciclados existentes y de los futuros, de acuerdo al plan de producción de moneda terminada, con ello se determina la composición de la carga en este proceso. Posterior a ello, en una hoja de cálculo se simulan las diferentes alternativas de producción que se pueden presentar, teniendo en cuenta la optimización

de espacios, los recipientes de almacenamiento de cospel (Tolvas), presupuesto de compra y uso de metales, una vez establecida la alternativa con esta misma hoja de cálculo se procede a calcular las necesidades de materias primas para efectuar los pedidos de compra correspondientes.

La selección de esta alternativa, sirve como insumo para que mediante otra hoja de cálculo se estimen las necesidades de herramientas de corte y de acuñación, así como de otros semielaborados, de acuerdo a los inventarios existentes con ayuda del sistema SAP con su respectivo plan de producción.

Estos planes de producción, incluyendo el plan de entregas de moneda terminada acordado con el Departamento de Tesorería, son socializados con los ingenieros responsables del control de cada etapa del proceso, y al finalizar cada mes se ajusta de acuerdo a la ejecución registrada, estos ajustes pueden incluir aumento de capacidad, cambio en las cantidades a producir o cambio en las entregas a Tesorería.

### **1.5. Descripción del Proceso Productivo Fabricación de Moneda Metálica**

En el año de 1980, con el apoyo del Ministro de Hacienda, Alfonso Palacio Rudas, se dieron los inicios de la construcción de la Casa de Moneda en la ciudad de Ibagué, dada la situación geográfica de la ciudad, siendo equidistante para cualquier zona del país y, especialmente su cercanía con Bogotá.

Para la ciudad de Ibagué, y en general para el Departamento del Tolima fue una decisión muy bien recibida, ya que con esta gran empresa se abrieron las puertas del desarrollo y la industrialización para una ciudad que era totalmente agrícola.

Es así, como el 14 de abril de 1982 se inaugura la Casa de Moneda - Fabrica de Cospelés, para que se fabricara el disco completamente liso el cual se remitía a la ciudad de Bogotá para su acuñación. Posteriormente en el año 1987 se inaugura la planta de acuñación completando así todo el proceso de fabricación de la moneda metálica en las mismas instalaciones.

A continuación se dará una breve descripción del proceso productivo que aplica en la producción de moneda metálica de las diferentes denominaciones que circulan en el país.<sup>1</sup>

### **2.1.1. Fundición.**

A partir de la fusión de metales puros, material reciclado y recuperado se obtienen aleaciones de proporciones precisas a temperaturas controladas en forma de fleje para que, a partir de este, se logren obtener los cospeles con la dureza y el brillo que requiere toda la cadena de producción para la fabricación de las monedas en sus diferentes denominaciones. Los estrictos controles metalúrgicos, garantizan la pureza de las aleaciones y la utilización económica de todos los recursos.

La solidificación se realiza continuamente en forma de largas platinas llamadas flejes, que inicialmente llega a tener un espesor de 15 milímetros. Posteriormente, dicho fleje sufre un proceso de fresado para pulir su superficie, generando un subproducto denominado “viruta”, finalmente el fleje se va cortando y enrollando aproximadamente cada 19 metros, que pesa más o menos una tonelada.

---

<sup>1</sup> Fuente sitio web Banco de la República <http://www.banrep.gov.co/es/billetes-y-monedas/proceso-produccion>



*Figura No. 2 Planta de fundición*



*Figura No. 3 Horno de fundición 1*



*Figura No. 4 Horno de fundición 2*



*Figura No. 5 Horno de fundición 3*



*Figura No. 6 Sistema de extracción*



*Figura No. 7 Enrollado de fleje*

### **2.1.2. Laminación**

Proceso de deformación en frío que busca obtener el espesor ideal de los procesos subsecuentes satisfaciendo los requerimientos de calidad necesarios para continuar en la línea de producción. Esta etapa del proceso productivo, se hace en dos momentos, uno para lograr un desbaste de los rollos producidos en fundición, el cual consiste en reducir el espesor del fleje de aproximadamente 15 a 14 mm, a un espesor promedio de 3,90 mm; posteriormente éstos rollos se zunchan y se envían al procedimiento de recocido de fleje para realizarles el tratamiento térmico correspondiente.

La segunda etapa, se lleva a cabo para lograr un afinado que consiste, en llevar el espesor del fleje de aproximadamente 3.90 mm (ya recocido), hasta el espesor requerido para el corte del disco. Posteriormente estos rollos se zunchan, pesan y se envían al procedimiento de troquelado.



*Figura No. 8 Laminador Schmitz. Sistema reversible de laminación en frío*

### **2.1.3. Recocido de fleje**

Proceso mediante el cual el material (flejes salidos de laminación para desbaste, cospel de \$1000 alpaca amarilla salidos del proceso de rebordeo) es sometido a una temperatura durante un tiempo determinado dentro de una atmósfera inerte (Hidrógeno 75% y Nitrógeno 25%) para evitar la oxidación durante el tratamiento térmico. El objetivo es someter estos materiales, en una atmosfera controlada a un aumento de temperatura (calentamiento) hasta un rango llamado de “Re cristalización” y a una posterior disminución de temperatura (enfriamiento), en la que el material recupera sus

propiedades físicas (estructura, resistencia mecánica, tenacidad) que lo dejan habilitado y facilitan las operaciones posteriores.



*Figura No. 9 Hornos de recocido de fleje Ebner*

#### **2.1.4. Troquelado**

Una vez logrado el espesor solicitado y con la dureza controlada, el fleje o cintas metálicas se perforan con punzones para obtener discos de acuerdo a los diámetros establecidos para cada denominación, así como un reciclado importante denominado malla, la cual es reutilizable en el proceso de fundición.





*Figura No. 10 Troqueladora Schuler*



*Figura No. 11 Punzonadora marca Linde*



*Figura No. 12 Malla sobrante del proceso*

### **2.1.5. Rebordeo del cospel**

La máquina acordonadora crea un relieve en el borde que protegerá del desgaste de la figura emblema de la moneda. Es decir, que se transformará mecánicamente el borde de los discos provenientes de troquelado, alcanzando medidas definidas en cuanto a diámetro, altura y formas del borde, lo que posteriormente permitirá la formación del

marco en la moneda, brindando protección a los detalles del diseño y facilitando la marcación de motivos o letras en el canto cuando el diseño lo exija.

Cuando se procese material para corona \$1000, debe ser realizado en la rebordeadora Columbia, donde se requiere de un paso adicional para la formación de la canal (ranurado lateral), teniendo en cuenta que el material debe estar recocido previamente.



*Figura No. 13 Rebordeadora Schuler*

#### **2.1.6. Recocido del cospel**

El procedimiento de recocido de cospel, consiste en el ablandamiento del material en un rango de temperatura llamado recristalización, en el cual el cospel recupera sus propiedades físicas, que lo dejan habilitado para ser usado en los procesos siguientes especialmente el procedimiento de acuñado. En resumen, permite aliviar las tensiones internas ocasionadas por procesos previos en la fabricación y aumentar la ductilidad, para permitir el procesamiento adicional sin la aparición de fracturas, así como disminuir el nivel de resistencia y dureza, mejorando las propiedades físicas y logrando mayor estabilidad dimensional.

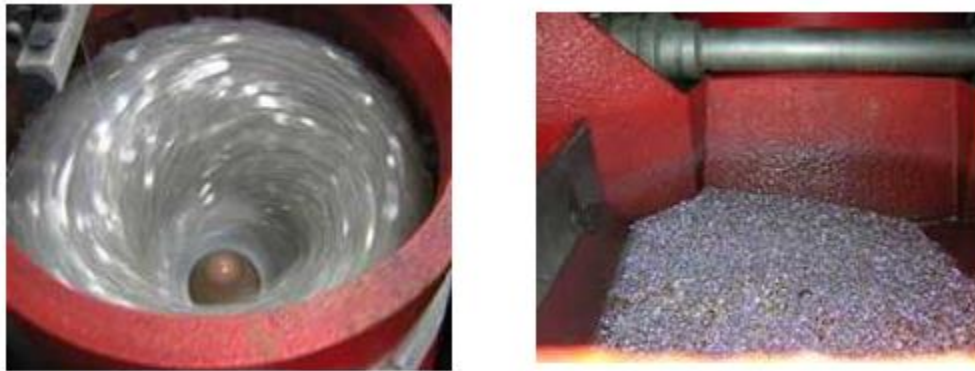


*Figura No. 14 Horno de recocido de cospel*

### **2.1.7. Lavado**

Este procedimiento consiste en darle al cospel unas características de limpieza y brillo según las especificaciones técnicas, a fin de garantizar la óptima presentación del material a seleccionar, por medio de ácidos y jabones para que pueda ser seleccionado automática o manualmente en una etapa posterior.





*Figura No. 15 Máquina de lavado*

### **2.1.8. Selección**

Este procedimiento consiste en revisar al 100% todo el producto, detectar y retirar los cospeles defectuosos mediante un procedimiento automático utilizando máquinas especializadas, equipadas con dispositivos de visión óptica. También se puede realizar, este procedimiento en forma manual, utilizando las bandas de transporte y personal altamente calificado, el objetivo del proceso es en ambos casos detectar y retirar los cospeles defectuosos antes de ser entregado el material al proceso de acuñación.







*Figura No. 16 Bandas de selección*

### **2.1.9. Troquelado de cospel**

Este proceso consiste en retirar el núcleo de los cospes que han sido fabricados para generar corona de aquellas monedas bimetálicas, se utilizan las máquinas de acuñado y el proceso se hace cospel por cospel utilizando herramientas de corte para tal fin. En un proceso posterior permitirá el ensamble de estas coronas con el núcleo de la otra aleación, este proceso genera una cantidad importante de material reciclado el cual es reutilizable en el proceso de fundición.



*Figura No. 17 Troqueladora y Acuñadora Schuler*

### **2.1.10. Acuñación**

En 1986 se construyeron instalaciones para la acuñación. Así, desde 1987 se ha integrado el proceso de marcación del canto y la estampación del grabado en monedas y medallas. Hábiles expertos del taller de máquinas herramientas, dan forma y endurecen piezas de corte, repuestos, matrices y troqueles, lo que permite garantizar el oportuno cumplimiento de los programas de producción.



*Figura No. 18 Área de Acuñación de Moneda*

### **2.1.11. Empaque**

Una vez la moneda se encuentra acuñada y cumpliendo con los estándares de calidad requeridos, se recolecta la moneda salida de las máquinas acuñadoras y se traslada hasta las máquinas ubicadas en el área de empaque. Allí la moneda es contada doblemente y empacada en bolsas las que posteriormente son entregadas a la bóveda de almacenamiento.



*Figura No. 19 Proceso de empaque de moneda*

#### **2.1.12. Control de calidad**

La Casa de Moneda implantó un sistema de control de calidad que cubre todos los procesos de producción de fleje, cospel y moneda. Cuenta con equipos modernos de análisis químico, fisicoquímico y metalúrgico, además del personal idóneo que garantiza la calidad del producto. Continuamente se modernizan los sistemas de purificación que protegen el ambiente natural de las emisiones acuíferas, sólidas y gaseosas potencialmente nocivas.





*Figura No. 20 Proceso de control de calidad*



### **Capítulo 3**

#### **Modelos matemáticos de planeación de producción**

Una adecuada planificación, un buen control de la producción y suministros juega un papel fundamental en la gestión de una organización (Cárdenas, Reyes, Carrillo, & Sánchez, 2015), ya que afecta considerablemente los procesos de cadena de valor de la organización. Planear la producción permite programar la utilización de los diferentes recursos necesarios para el proceso productivo. Por lo tanto, para la realización de este artículo es indispensable tener en cuenta este aspecto si se desea un plan de producción con costos óptimos y logrando el cumplimiento de los compromisos con el cliente.

La correcta planeación de las operaciones de la planta, incluye decisiones estratégicas, tácticas y operativas. Debido a esto requiere de una herramienta que permita alinear las diferentes áreas desde el cliente interno, Departamento de Tesorería, La Subgerencia Industrial, así como la Subdirección de Operaciones de la Fábrica de Moneda, de forma que, las decisiones estratégicas hagan frente a temas como distribución, planificación y el balance de capacidad de los recursos (Torabi & Ebadian, 2010).

El plan maestro de producción, por su parte es una herramienta que permite determinar de forma precisa la factibilidad de un plan basado en restricciones de capacidad agregada por medio de una comunicación directa con el cálculo de necesidades de materiales MRP (Nahmias, 2007).

Existen muchos modelos matemáticos que se centran en la planeación de operaciones y gestión de inventarios, en general la función objetivo de estos modelos busca reducir costos de producción, inventarios y capacidad mediante diferentes técnicas de

optimización, respondiendo al cumplimiento de unas restricciones planteadas para que los resultados del modelo sean factibles. Los modelos más importantes son los de Shapiro (Shapiro, 1989), Graves (Graves, 1999), Tang, Wang y Fung (Tang, Fung, & Wang, 2000), Pochet (Pochet, 2001), Mula, Poler y García (Mula, Poler, & Garcia, 2006), Arango, Serna y Álvarez (Arango, Álvarez, & Serna, Modelos difusos aplicados a la planeación de la producción, 2009), Almeder (Almeder, 2010), Arango, Serna y Pérez (Arango, Pérez, & Serna, Fuzzy mathematical programming applied to the material requirements planning (MRP), 2010) y Arango, Vergara y Gaviria (Arango, Gaviria, & Vergara, 2010).

### **3.1. Planificación agregada**

Como en la mayoría de las compañías que presentan demandas no constantes o con cambios estacionales, la determinación de los niveles de producción para un periodo dado se vuelve una tarea compleja, por lo que, a lo largo de la evolución de la administración de operaciones, se han definido varias estrategias para manejar dicha fluctuación, muchas de ellas se basan en establecer sus tasas de producción, niveles de fuerza de trabajo y el control de los inventarios, en estimaciones de los requisitos de los clientes y las limitaciones de su propia capacidad (Krajewski & Ritzman, 2000).

Una estrategia es que, en lugar de planear a una demanda cambiante, es convertir esa demanda en constante, para ello (Bulfin, Jr. & Sippper, 1998), plantean tres enfoques para lograrlo:

- No satisfacer la demanda durante periodos pico.

- Cambiar la demanda de periodos picos a periodos no picos, o crear una nueva demanda para los periodos no pico.
- Producir varios productos con demanda pico en otros periodos.

Sin embargo, no todas son óptimas, pues la primera tiene una capacidad menor que la demanda pico y mantiene una tasa de producción constante, pero no satisface toda la demanda, esto no es permitido en el caso de la Fábrica de Moneda, en donde toda la demanda de un año debe ser atendida. La segunda estrategia se soporta mucho en lo el área de mercadeo o ventas puedan lograr con nuevos clientes mediante ofertas o incentivos atractivos, suaviza la demanda, pero sigue siendo insuficiente cuando la demanda debe ser completamente atendida.

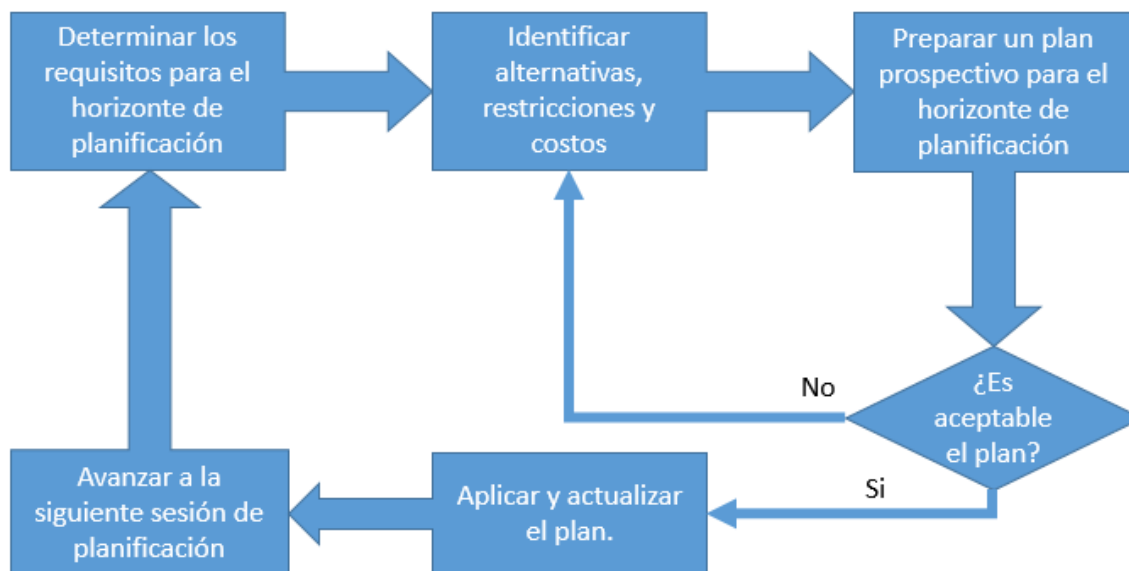
Por último, se pueden fabricar varios productos con patrones de demanda similares, es útil cuando fabricar dichos productos no implique demasiadas diferencias.

### **3.1.1. Proceso de la planeación agregada**

Como lo hemos mencionado anteriormente, cuando la demanda varia se debe determinar un plan de producción que permita establecer, cuántas unidades y cuando fabricar cada producto, buscando coincidir la tasa de producción y la tasa de la demanda.

Al igual que en los pronósticos, se deben establecer planes en diferentes horizontes de tiempo mediante un enfoque jerárquico, normalmente estos horizontes son a largo, mediano y corto plazo, para efectos de este trabajo ahondaremos más en el horizonte de mediano plazo, debido a que el horizonte de largo plazo no es del alcance de la Fábrica de Moneda y el de corto plazo está controlado por los ingenieros responsables del proceso productivo.

En la figura 21, se aprecia la preparación de planes agregados, el cual es dinámico y continuo, puesto que diversos aspectos en el plan se actualizan periódicamente, cuando se dispone de nueva información y se presentan nuevas oportunidades (Krajewski & Ritzman, 2000).



*Figura No. 21 Proceso de preparación de planes agregados*

Un plan se lleva a cabo para todos los periodos en el horizonte, sin embargo, en el siguiente periodo se ejecuta el modelo determinado para generar un nuevo plan, de ese periodo hasta el último del horizonte de planeación, en cuanto a la forma de llevar a cabo esta planeación en la Fábrica de Moneda, el Departamento de Tesorería efectúa la planeación a largo plazo, el modelo matemático que se plantea en este documento permitirá elaborar el plan a mediano plazo, cuyo horizonte intermedio de doce meses con actualizaciones mensuales, el horizonte de corto plazo está a cargo del área de operaciones de la Planta.

La planeación a mediano plazo sea vuelto complejo, debido a varios factores como la capacidad de mano de obra, el patrón de la demanda, los procesos alternativos y el inventario de algunos de los subproductos generados en el proceso.

### **3.1.2. Aspectos de la planeación agregada**

Los tres aspectos de mayor relevancia en la planeación agregada son: la capacidad de planta, las unidades agregadas y los costos de producción, por lo que se hará un pequeño análisis de cada uno de estos aspectos (Bulfin, Jr. & Sippper, 1998).

#### *Capacidad de planta*

Se define en términos de cuánto se puede fabricar en un sistema de producción, y depende del sistema mismo, por ejemplo, la capacidad de una universidad es distinta a la capacidad de una planta metalúrgica, pero para ambas se puede estimar cuánto puede fabricar el sistema en la unidad natural de esta. Parecería obvio, pero vale la pena indicar que la capacidad debe exceder a la demanda, por lo menos en el largo plazo, sin embargo, este exceso puede resultar costoso. En el corto plazo, se pueden hacer cambios en la capacidad, pero casi siempre son pequeños. Los grandes cambios en la capacidad requiere un tiempo más largo y se hacen en incrementos discretos, como construir una nueva planta o agregar una máquina o implementar un nuevo turno (Bulfin, Jr. & Sippper, 1998).

#### *Costos de producción*

Son muchos los costos que se ven implicados en la planeación agregada, en términos generales son: costos de producción, costos de inventarios y costos de ampliar la

capacidad (Krajewski & Ritzman, 2000), no obstante, los costos más relevantes a tener en cuenta son:

- Costos del horario regular: incluyen los salarios pagados a los empleados en horario regular, más los aportes a seguridad social y aportes parafiscales.
- Costo de horas extras: estos costos por lo general representan el 150% de los salarios de costos de horario regular.
- Costos de contrataciones y despidos: son todos los costos asociados al cubrimiento de vacantes, incluyendo desperdicios por inexperiencia, indemnizaciones y reentrenamiento de personal.
- Costos de inventarios: entre estos costos figuran los de capital atado al inventario, los costos de almacenamiento y movimientos de almacén, los costos referentes a mermas y obsolescencia, los costos de seguros y los impuestos.
- Costos de órdenes atrasadas y faltantes: esto permite atender los pedidos vencidos.

### *Unidades Agregadas*

La producción incluye muchos productos hechos de diversas maneras. Los planes a mediano plazo no necesitan este nivel de detalle, por lo que los productos se juntan para formar uno solo. Los planes a mediano plazo se conocen como planes agregados.

Con frecuencia, un producto agregado se expresa en términos de tiempo o dinero, para calcular alguna variable de la demanda, como las horas de producción y de esta forma poder costear de mejor forma esta variable.

La capacidad se debe medir en las mismas unidades que la producción agregada. Las horas son una medida natural; la capacidad es la cantidad de horas disponibles por unidad de tiempo. El tiempo se puede convertir a pesos mediante la utilización de tarifas estándar.

### **3.2. S&OP**

En la actualidad existen diferentes investigaciones encaminadas al objetivo principal del presente proyecto de investigación, dicha información es muy pertinente ya que es amplia y aplicada al modelado de operaciones en sistemas empresariales en algunos sectores industriales. Igualmente considerando el contexto, se estima que S&OP permite tener un proceso integral de gestión y toma de decisiones de negocio para balancear la demanda y suministro, alinear los planes operativos y financieros con la estrategia del negocio en un horizonte de tiempo adecuado (Hermida, 2017).

Igualmente se puede entender que el concepto clave es “proceso integral de gestión y toma de decisiones de negocio”, incluye a las otras áreas que se relacionan con la demanda (las ventas) y la satisfacción de dicha demanda, además del área financiera que participa en la evaluación de los planes. Los planes que el S&OP genera son tácticos y no operativos, es decir, nos sirven para tomar decisiones de mediano plazo (1-12 meses) y no operativos (1-4 semanas), acotado por la utilidad de la información generada.

Es decir que la problemática en estudio de este proyecto se despliega en el contexto industrial y en particular la problemática encontrada en las fuentes investigadas, que están enfocadas en la determinación de la planeación óptima de la producción. Los

expertos señalan a propósito de ello, que es un área relativamente nueva en el área de operaciones de producción y logística de los sectores de la manufactura.

Por lo anterior para entender el problema de optimización de la planeación de operaciones en los procesos de producción de las plantas industriales del Banco de la República, vale la pena recordar ¿Cómo se define Sales and Operations Planning (S&OP) o la Planeación de Ventas y Operaciones?, el cual es un concepto de inicios de los años 80, pero que en estos días ha tomado valor debido a que permite alinear la demanda y el suministro. Sin embargo, conforme el proceso ha evolucionado, se ha entendido que su alcance es mucho más amplio y que bien ejecutado se convierte en un proceso central a la gestión integral del negocio.

Es así, entonces, que el S&OP se convierte en el vehículo para ejecutar la estrategia que requiere el Banco de la República, asegurando que en el corto y mediano plazo alcanzará tener tanto metas consistentes con los objetivos de la empresa como una toma de decisiones alineada a las prioridades marcadas por la planeación estratégica anual. Un proyecto que desarrolló una propuesta en el escenario de ventas, beneficios, trazabilidad en la información y planificación de operaciones (S & OP) fue con minoristas de fábricas locales. Aquí el proyecto consistió en un estudio piloto de intercambio de información en un entorno real de dos fabricantes de productos. El cual dio como resultado la facilidad de examinar dos escenarios con detalles finos y explicar el ¿Por qué la introducción de información en los procesos S & OP produce o no beneficios (Riikka, Holmstrom, Smaros, & Rajala, 2017).



S&OP ayuda a resolver, decisiones como programación de mantenimientos de capacidades de producción, compras a proveedores que tienen largos tiempos de entrega, definición del tamaño requerido de cuadrillas, los requerimientos que no resuelve son los que están fuera de los límites de dicho horizonte, por ejemplo, la decisión de si abrir o no una nueva ubicación de producción o almacenamiento no se soluciona con el S&OP, está más allá del horizonte; igualmente, la decisión de qué producir en los siguientes días tampoco se soluciona porque está antes del inicio del horizonte de tiempo.

Una vez que estas decisiones están soportadas con la información adecuada, el proceso también toma como entrada la guía estratégica y la evaluación financiera de alternativas de decisión que llevarán a la empresa a lograr sus objetivos. Sin embargo, el S&OP no sólo obtiene su importancia de la información que genera, sino que la simple ejecución de sus pasos trae beneficios importantes. El proceso cruza a toda la organización en su operación y tiene en términos generales los siguientes pasos:

- **Planeación de la demanda:** Generar una visión comercial de lo que se espera se la demanda, se revisa y ajusta un pronóstico estático de la demanda para reflejar las condiciones del mercado y las acciones planeadas que impacten dicha demanda.
- **Plan de suministros:** Identificar las restricciones potenciales en la satisfacción de la demanda planeada, se revisa si la organización puede cumplir con la demanda planeada en función de sus capacidades y establecen límites potenciales.
- **Generación de escenarios:** Generar alternativas posibles de acuerdo a las posibles restricciones y el plan de la demanda, cada escenario debe ser evaluado desde dos enfoques, financiero y logístico.

- Liberación del plan: Comunicar las decisiones tomadas de acuerdo a los análisis efectuados de cada uno de los escenarios.

Una vez se ha efectuado la liberación del plan, debe ser ligado a la operación diaria de la planta, para ello se requiere que los líderes de operaciones conozcan el plan producido por S&OP, sus supuestos y prioridades, que el área de ventas enfoque sus esfuerzos para cumplir con la demanda lo mejor posible y revise en conjunto con la demanda real recibida.

Por supuesto, el primer paso es asegurar el éxito de la implementación de S&OP (al igual que cualquier otro nuevo modo de trabajo) consiste en tener todas las actividades claramente definidas y calendarizadas, participación inter-funcional, información de entrada bien validada, responsabilidades bien identificadas, ejecución de acuerdo al calendario (el estar cambiando las fechas de entrega o de reuniones sólo da la impresión de falta de prioridad), reuniones con una agenda claramente estructurada, indicadores del proceso y tecnología que lo habilite adecuadamente.

Se han realizado diferentes búsquedas en bases de datos bibliográficas y en la literatura en general y, como resultado 145 documentos fueron revisados en base a sus textos completos. Estos hallazgos demuestran que la implementación de S & OP no tiene mucha atención en la literatura. Por lo tanto, hay una necesidad en realizar modelos industriales con el objetivo de investigar y aplicar el estado actual de S & OP (Noroozi & Wikner, 2017).

Hay que tener en cuenta que los logros de los diferentes autores en relación con el tema de investigación se encuentran encaminados según Marulanda (Marulanda &

Gonzalez, 2016) en dónde se comprende y se analiza aspectos relevantes de la producción con el fin de tomar la decisión más acertada sobre el tipo de sistema de planeación que se va a implementar. Igualmente se señala la importancia de identificar los mecanismos de coordinación entre otras herramientas de mejoramiento, en este caso lean manufacturing y la estrategia de operaciones en siete compañías del sector textil ubicadas en Colombia. Por esta razón se empleó una metodología de estudio de caso, con base en un enfoque cuantitativo con resultados en las utilidades, decisiones estratégicas de capacidad y la incorporación de la filosofía lean en los diferentes niveles jerárquicos de la organización.

En este documento, también es importante resaltar que han existido estudios que también investigan el impacto de las variaciones en las condiciones operacionales sobre los beneficios de la planeación integrada. Es el caso de proyectos en temáticas de reciclaje que sugieren que los resultados de la calidad de los materiales obtenidos en la primera etapa de producción influyen fuertemente en el rendimiento en la segunda etapa del proceso (Chang, Graves, Kirchain, & Olivetti, 2018).

Sin embargo, la implementación adecuada requiere de un proceso de maduración en donde los diferentes elementos del proceso van evolucionando con el tiempo y, sobre todo, requiere de un fuerte componente de gestión del cambio y alineación de la medición y recompensa de la gente (Martínez, Val, Tzintzun, & Conejo, 2016). Por lo anterior es necesario resaltar que, de acuerdo a lo consultado, este tipo de aplicaciones de modelos de planeación en un sistema de producción de acuerdo a este proyecto no se ha realizado.

## Capítulo 4

### Desarrollo del modelo matemático para la planeación de producción

En este capítulo se desarrollará el modelo de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM), cuyo objetivo es generar un programa de producción mensual detallado por denominación para los productos terminados y semielaborados necesarios para fabricar las monedas legales en Colombia que permita minimizar los costos de producción de cada uno de estos productos. En los siguientes numerales se presentarán cada uno de los elementos necesarios para su definición.

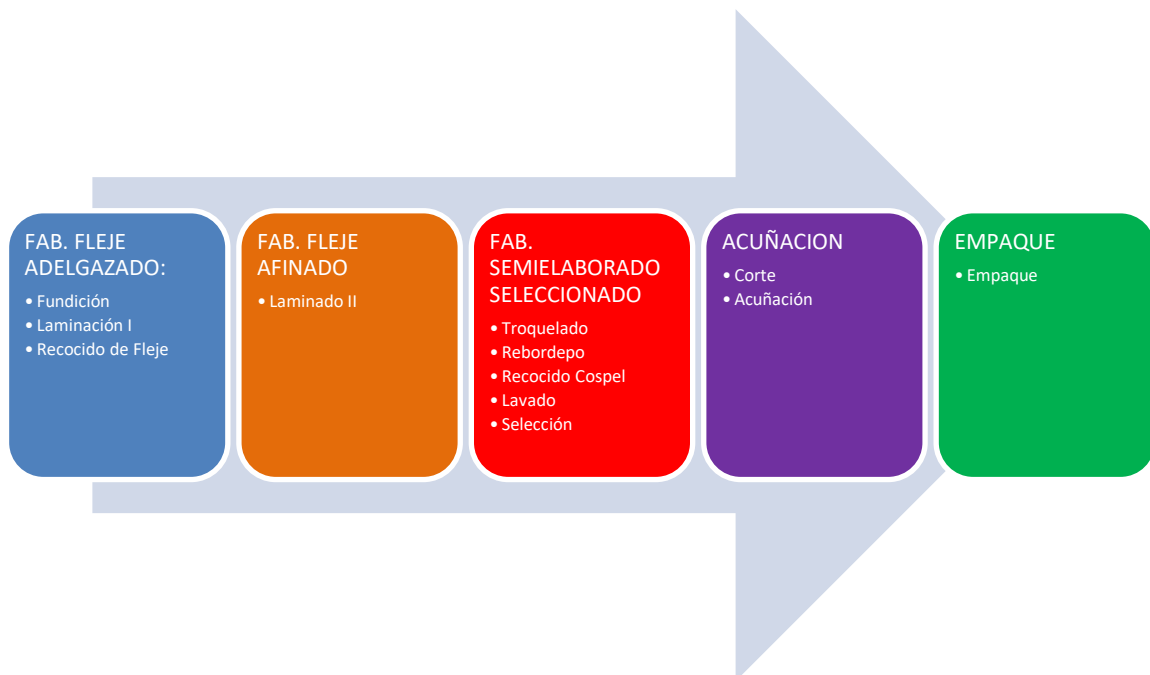
#### 4.1. Conjuntos

$s$ MP001, ... , MP009	Metales puros con los cuales se fabrican las aleaciones internacionales para moneda metálica
$b$ R001, ... , RC012	Material reciclado generado en el proceso productivo y a su vez consumido en el proceso de fundición
$l$ ALB, ALA, CUA	Tipos de fleje producidos en la Fábrica de las diferentes aleaciones internacionales de moneda metálica, Alpaca Blanca, Alpaca Amarilla y Cualni.
$k$ FCOS200, FNUC500, FCOS500, FNUC1000, FCOS1000	Tipos de fleje afinados, los cuales ya cuentan con el espesor especificado para cada denominación, permitiendo la fabricación de cospel y núcleo.
$r$ INR001, ... , INR016	Insumos requeridos para la fabricación del semielaborado seleccionado.
$w$ COS50, COS100	Conjunto de semielaborados seleccionados con enchape de acero, necesarios para fabricar la moneda de \$50 y \$100.
$g$ GCOR500, GCOR1000	Conjunto de coronas cortadas necesarias para fabricar las monedas bimetálicas \$500 y \$1.000.
$m$ M50, M100, M200, M500, M1000	Denominación de las monedas metálicas que circulan actualmente en el país.
$n$ INN001, ... , INN012	Insumos requeridos para la acuñación de las monedas metálicas o el corte del cospel de la moneda de \$500 o de \$1,000 para obtener la corona.

<b>p</b> P01, ... , P12	Periodos del año
<b>h</b> INH001, ... , INH005	Insumos requeridos para el empaque de las diferentes aleaciones de moneda metálica.

Los conjuntos se establecieron de acuerdo a la estructura dada en el modelo, ya que no se definieron todas las etapas del proceso productivo porque complejiza la definición misma, por la cantidad de variables, parámetros y restricciones, entre otras, por lo que se decidió agrupar dichas etapas de acuerdo a los procesos de transformación o a la posibilidad de importar semielaborado con etapas iguales a las de la fabricación en planta.

Por lo que se estableció resumirlos de la siguiente manera:



*Figura No. 22 Agrupación de macro procesos para desarrollo del modelo*

Para el primer grupo, se tuvo en cuenta que estas tres etapas fabrican un fleje que no tiene una denominación asignada y que puede ser utilizado por varias de ellas, para el segundo, el parámetro que se tuvo en cuenta fue que en este proceso se da el espesor final

y solo podrá ser utilizado por una denominación específica, para el tercer y cuarto grupo el factor influyente fue que para estos procesos se puede consumir semielaborado fabricado en planta o semielaborado importado, el quinto grupo es el empaque y último proceso de cara al cliente.

#### 4.2. Parámetros

<b>HF</b>	Cantidad de horas hombre disponibles en el área de Facos para cada periodo p. (Escalar = 2.338 h)
<b>HA</b>	Cantidad de horas hombre disponibles en Acuñación para cada periodo p. (Escalar = 1.149 h)
<b>HE</b>	Cantidad de horas hombre disponibles en Empaque para cada periodo p. (Escalar = 555 h)
<b>CHFA</b>	Costo agregado de fabricación por hora - Fleje Adelgazado. (Escalar = \$1.436.031)
<b>CIFA</b>	Costo agregado de fabricación por kilo - Fleje Adelgazado. (Escalar = \$3.157)
<b>CHFB</b>	Costo agregado de fabricación por hora - Fleje Afinado. (Escalar = \$1.003.713)
<b>CIFB</b>	Costo agregado de fabricación por kilo - Fleje Afinado. (Escalar = \$1.472)
<b>CHFB</b>	Costo agregado de fabricación por hora - Cospel y Núcleo Seleccionado. (Escalar = \$887.701)
<b>CIFC</b>	Costo agregado de fabricación por kilo - Cospel y Núcleo Seleccionado. (Escalar = \$4.189)
<b>CHFD</b>	Costo agregado de fabricación por hora - Moneda Acuñada. (Escalar = \$424.434)
<b>CIFD</b>	Costo agregado de fabricación por kilo - Moneda Acuñada. (Escalar = \$845)
<b>CHFH</b>	Costo agregado de fabricación por hora - Corona Cortada. (Escalar = \$67.802)
<b>CIFH</b>	Costo agregado de fabricación por kilo - Corona Cortada. (Escalar = \$12.910)
<b>CHFE</b>	Costo agregado de fabricación por hora - Moneda Empacada. (Escalar = \$123.134)

<b><i>CIFE</i></b>	Costo agregado de fabricación por kilo - Moneda Empacada. (Escarlar = \$12)
<b><i>CMFl</i></b>	Cantidad de toneladas mínima a producir para cada fleje adelgazado tipo l.
<b><i>EAl</i></b>	Horas hombre requeridas para fabricar una tonelada de fleje adelgazado tipo l.
<b><i>HFAI</i></b>	Horas requeridas para fabricar 1 tonelada de fleje adelgazado tipo l
<b><i>EBk</i></b>	Horas hombre requeridas para fabricar una tonelada de fleje afinado del semielaborado tipo k.
<b><i>HFBk</i></b>	Horas requeridas para fabricar 1 tonelada de fleje afinado tipo k
<b><i>ECK</i></b>	Horas hombre requeridas para fabricar una tonelada de semielaborado seleccionado tipo k.
<b><i>HFCK</i></b>	Horas requeridas para fabricar 1 tonelada de fleje afinado tipo k
<b><i>DTg</i></b>	Horas hombre requeridas para cortar una tonelada de cospeles tipo g para la elaboración de corona para las denominaciones bimetálicas.
<b><i>HFTg</i></b>	Horas requeridas para fabricar 1 tonelada de semielaborado seleccionado tipo g
<b><i>DAm</i></b>	Horas hombre requeridas para acuñar un millón de piezas de la denominación m.
<b><i>HFDm</i></b>	Horas requeridas para acuñar 1 millón de monedas tipo m
<b><i>EEm</i></b>	Horas hombre requeridas para empacar un millón de monedas de la denominación m.
<b><i>HFE m</i></b>	Horas requeridas para empacar 1 millón de monedas tipo m
<b><i>CAI</i></b>	Costo en pesos agregado de la fabricación por tonelada del fleje adelgazado tipo l, en un periodo p.
<b><i>CBk</i></b>	Costo en pesos agregado de la fabricación por tonelada del fleje afinado tipo k, en un periodo p.
<b><i>CCw</i></b>	Costo en pesos agregado de la fabricación por tonelada de semielaborado seleccionado tipo w, en un periodo p.
<b><i>CDm</i></b>	Costo en pesos agregado de la acuñación por tonelada del semielaborado de la denominación m.
<b><i>CHg</i></b>	Costo en pesos agregado de la fabricación por tonelada de corona cortada tipo g, a partir del semielaborado tipo k.
<b><i>Tm</i></b>	Cantidad requerida por el Departamento de Tesorería para la denominación m.
<b><i>VMsp</i></b>	Valor de compra en pesos, por kilo del metal puro s, en un periodo p.

<b>CRbp</b>	Costo en pesos por kilo del reciclado tipo b, utilizado en la fabricación de fleje adelgazado.
<b>QMPsl</b>	Cantidad de kilos de metal puro tipo s, requerido para fabricar una tonelada de fleje adelgazado tipo l.
<b>QRCbl</b>	Cantidad de kilos de reciclado tipo b, requerido para fabricar una tonelada de fleje adelgazado tipo l.
<b>RGAbI</b>	Cantidad de kilos de reciclado tipo b, generado en la fabricación de una tonelada de fleje adelgazado tipo l.
<b>UFAIk</b>	Parámetro que indica el uso de un fleje tipo l, en la fabricación de semielaborado seleccionado tipo k.
<b>UFAIk</b>	Parámetro que indica el uso de un fleje tipo l, en la fabricación de semielaborado seleccionado tipo k.
<b>FTCMkm</b>	Factor de consumo en kilos semielaborado tipo k con respecto a una tonelada de corona cortado tipo g
<b>FTCCkg</b>	Factor de consumo en kilos semielaborado tipo k con respecto a una tonelada de corona cortado tipo g
<b>QIRrk</b>	Cantidad de kilos de insumos tipo r, necesarios en la fabricación de una tonelada de semielaborado seleccionado tipo k.
<b>VIRrp</b>	Costo en pesos por kilogramo del insumos tipo r, para fabricar semielaborados tipo k, en un periodo p.
<b>RGCBk</b>	Cantidad de kilos de reciclado tipo b, generado en la fabricación de una tonelada de semielaborado seleccionado tipo k.
<b>VFIkp</b>	Costo en pesos por tonelada de fleje importado tipo k, requerido para fabricar semielaborado w, en un periodo p.
<b>FCTgm</b>	Factor de consumo en gramos de una corona cortada tipo g para una moneda acuñada tipo m
<b>FTWwm</b>	Factor de consumo en gramos de cospel importado tipo w para una moneda acuñada tipo m
<b>QNMnm</b>	Cantidad de insumos tipo n, necesarios en la fabricación de un millón de monedas de la denominación m.
<b>QNGng</b>	Cantidad de insumos consumidos de tipo g para una tonelada de semielaborado g en un periodo p
<b>VINnp</b>	Costo en pesos por unidad del insumos tipo n, para acuñar semielaborados de la denominación m, o cortar un semielaborado tipo w, en un periodo p.
<b>VXIwp</b>	Costo en pesos por tonelada de semielaborado importado tipo w, requerido para fabricar acuñar moneda de la denominación de \$50 y \$100, en un periodo p.



<b><i>VGIgp</i></b>	Costo unitario de cada insumos tipo n en un periodo p para cortar una tonelada de cospel en la fabricación de corona
<b><i>VKIkp</i></b>	Costo unitario de cada insumos tipo n en un periodo p para cospel o núcleo tipo k
<b><i>RGDbg</i></b>	Cantidad de kilos de reciclado tipo b, generado en el corte de una tonelada de cospel tipo g.
<b><i>VIHhp</i></b>	Costo en pesos por unidad del insumos tipo h, para empacar monedas de la denominación m, en un periodo p.
<b><i>QHMhm</i></b>	Cantidad de insumos tipo h, necesarios en la fabricación de un millón de monedas de la denominación m.

Los valores registrados en el modelo de los diferentes parámetros fueron obtenidos mediante las diferentes consultas disponibles en el sistema de información SAP utilizado por el Banco para la gestión de sus procesos, los saldos iniciales requeridos fueron obtenidos con corte a diciembre 31 de 2018, junto con los valores registrados por dichos inventarios. Con respecto a las compras de los diferentes materiales se incluyen las registradas en el citado sistema para lo corrido en el 2019, y en una matriz establecida se incluyen las cantidades adquiridas y actualiza para dicho periodo el precio medio variable de forma que los consumos para ese periodo tenga el nuevo valor. El valor actualizado es el que se determina en SAP al momento de la compra.

#### **4.3. Variables de decisión**

<b><i>FLlp</i></b>	Cantidad de toneladas de fleje adelgazado tipo l, consumido en un periodo p.
<b><i>RAbp</i></b>	Cantidad de reciclado generado en kilos tipo b, utilizado en la fabricación de fleje adelgazado tipo l, en un periodo p.
<b><i>Ysp</i></b>	Consumo en kilos de metal puro tipo s, para un periodo p.
<b><i>RFbp</i></b>	Cantidad de reciclado consumido en kilos tipo b, utilizado en la fabricación de fleje adelgazado tipo l, en un periodo p.
<b><i>FLFlp</i></b>	Inventario final en kilos de fleje adelgazado tipo l, al final del ejercicio.

<b><i>FFkp</i></b>	Cantidad de toneladas de fleje afinado tipo k, consumido para elaborar semielaborado seleccionado tipo w, en un periodo p.
<b><i>FFFkp</i></b>	Inventario final en kilos de fleje afinado tipo k, al final del ejercicio.
<b><i>RCbp</i></b>	Cantidad de reciclado generado en kilos tipo b, utilizado en la fabricación de semielaborado seleccionado tipo w, en un periodo p.
<b><i>QRrp</i></b>	Cantidad de kilos consumidos de insumos r, para fabricar 1 tonelada de semielaborado tipo w, en un periodo p.
<b><i>FIkp</i></b>	Cantidad de toneladas de fleje afinado tipo k, consumido para elaborar semielaborado seleccionado tipo w, en un periodo p.
<b><i>XSFkp</i></b>	Inventario final en toneladas de semielaborado seleccionado en la planta tipo k, al final del ejercicio.
<b><i>XAmp</i></b>	Cantidad de moneda acuñada de la denominación m, consumida para en empaque en un periodo p.
<b><i>QNnp</i></b>	Cantidad consumida de insumos n, necesarios para acuñar 1 millón del semielaborado de la denominación m, o cortar 1 millón de semielaborado tipo w, en un periodo p.
<b><i>RDbp</i></b>	Cantidad de reciclado generado en kilos tipo b, utilizado en el corte de semielaborado seleccionado tipo w, en un periodo p.
<b><i>XIwp</i></b>	Cantidad de kilos de semielaborado importado tipo w, en un periodo p. para acuñar monedas de la denominación de \$50 y \$100.
<b><i>XCgp</i></b>	Cantidad de kilos de corona cortada en fabrica tipo g, en un periodo p
<b><i>XTgp</i></b>	Cantidad de kilos de corona cortada importada tipo g, en un periodo p
<b><i>XXkp</i></b>	Cantidad de kilos consumidas de semielaborado seleccionado importado tipo k, en un periodo p.
<b><i>XSkp</i></b>	Cantidad de kilos consumidas de semielaborado seleccionado fabricado en planta tipo k, en un periodo p.
<b><i>XAFmp</i></b>	Inventario al final del ejercicio de moneda acuñada de la denominación m.
<b><i>XCFgp</i></b>	Inventario al final del ejercicio de kilos de corona cortada tipo g.
<b><i>QHhp</i></b>	Consumo de insumos h, necesarios para empacar 1 millón de monedas de la denominación m, en un periodo p.
<b><i>XFmp</i></b>	Inventario al final del ejercicio de moneda empacada de la denominación m.
<b><i>VR_XEm</i></b>	Costo agregado moneda empacada
<b><i>VR_QHh</i></b>	Costo de los insumos para empaque de moneda

<b><i>VR_XAm</i></b>	Costo agregado moneda acuñada
<b><i>VR_XIw</i></b>	Costo del cospel de 50 y 100 importado
<b><i>VR_XCg</i></b>	Costo agregado de la corona nacional acuñación
<b><i>VR_XTg</i></b>	Costo de la corona importada para acuñación
<b><i>VR_XKk</i></b>	Costo del cospel y núcleo importado acuñación
<b><i>VR_QNn</i></b>	Costo de los insumos utilizados en acuñación
<b><i>VR_RDb</i></b>	Costo de los reciclados generados en acuñación
<b><i>VR_XSk</i></b>	Costo agregado selección cospel y núcleo
<b><i>VR_FIk</i></b>	Costo del fleje afinado importado para selección
<b><i>VR_QRr</i></b>	Costo de los insumos utilizados en selección
<b><i>VR_RCb</i></b>	Costo de los reciclados generados selección
<b><i>VR_FFk</i></b>	Costo agregado fleje afinado
<b><i>VR_FLI</i></b>	Costo agregado fleje adelgazado
<b><i>VR_YAs</i></b>	Costo de los metales puros utilizados en fundición
<b><i>VR_RFb</i></b>	Costo del reciclado utilizados en fundición
<b><i>VR_RAb</i></b>	Costo del reciclado generado en fundición
<b><i>HH_ADp</i></b>	Cantidad de horas hombre en el proceso de fleje adelgazado
<b><i>HH_AFp</i></b>	Cantidad de horas hombre en el proceso de fleje afinado
<b><i>HH_SEp</i></b>	Cantidad de horas hombre en el proceso de selección
<b><i>HH_ACp</i></b>	Cantidad de horas hombre en el proceso de acuñación
<b><i>HH_COp</i></b>	Cantidad de horas hombre en el proceso de corte
<b><i>HH_EMp</i></b>	Cantidad de horas hombre en el proceso de empaque
<b><i>TO_HHp</i></b>	Total horas utilizadas en el área de Facos
<b><i>Minz</i></b>	Variable para minimizar los costos de producción de la fábrica de moneda.

#### **4.4. Función objetivo**

El objetivo de este modelo de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM), es generar un programa de producción mensual detallado por denominación para los productos terminados y semielaborados necesarios para fabricar las monedas legales en Colombia,

que permita minimizar los costos de producción de cada uno de estos productos, los criterios a tener en cuenta para la optimización serán: costos de los consumos de los metales puros y reciclados utilizados en la fundición, los costos de los consumos de los diferentes insumos utilizados a lo largo del proceso, los costos agregados en cada etapa, que incluye la tarifa por unidad base (millón o tonelada) de mano de obra, carga fabril sin incluir el consumo de energía, ya que este concepto se valora a parte dentro del esquema de costos de la Fábrica de Moneda, y por último los costos indirectos administrativos.

Estos elementos fueron calculados en cada uno de los bloques de procesos definidos para el modelo.

**Costos Fleje Adelgazado**      Costo Agregado Adelgazado + Costo Metal Puro + Costo de Reciclado - Costo Reciclado Generado

**Costos Fleje Afinado**      Costo Agregado Afinado

**Costos Selección**      Costo Agregado Selección + Costo Fleje Importado + Costo Insumos Selección - Costo Reciclado Generado

**Costos Acuñación**      Costo Agregado Corte + Costo Agregado Acuñación + Costo Semielaborado Importado + Costo Insumos de Acuñación - Costo Reciclado Generado

**Costos Empaque**      Costo Agregado Empaque + Costo Insumos Empaque

**Min Z =**      Costos Fleje Adelgazado + Costo Agregado Afinado + Costos Selección + Costos Acuñación + Costos Empaque

## Costos Fleje Adelgazado

$$\sum_{\substack{\forall s \in S \\ \forall p \in P}} VMsp * Ysp + \sum_{\substack{\forall b \in B \\ \forall p \in P}} CRbp * RFbp + \quad (01)$$

$$\sum_{\substack{\forall l \in L \\ \forall p \in P}} \frac{Fllp}{1000} * HFAl * CHFA + Fllp * CIFA - \sum_{\substack{\forall b \in B \\ \forall p \in P}} CRbp * RAbp$$

## Costos Fleje Afinado

$$\sum_{\substack{\forall k \in K \\ \forall p \in P}} \frac{FFkp}{1000} * HFbk * CHFB + FFkp * CIFB \quad (02)$$

## Costos Selección

$$\sum_{\substack{\forall k \in K \\ \forall p \in P}} \frac{XSkp}{1000} * HFck * CHFC + XSkp * CIFC \quad (03)$$

$$\sum_{\substack{\forall k \in K \\ \forall p \in P}} FIkp * VFIkp + \sum_{\substack{\forall r \in R \\ \forall p \in P}} QRrp * VIRrp - \sum_{\substack{\forall b \in B \\ \forall p \in P}} CRbp * RCbp$$

### Costos Acuñación

$$\begin{aligned}
 & \sum_{\substack{\forall m \in M \\ \forall p \in P}} \frac{XAmp}{1000000} * HFDm * CHF D + XAmp * CIFD + \\
 & \sum_{\substack{\forall g \in G \\ \forall p \in P}} \frac{XCgp}{1000} * HFTg * CHFH + XCgp * CIFH + \sum_{\substack{\forall g \in G \\ \forall p \in P}} XTgp * VGIg + \\
 & \sum_{\substack{\forall w \in W \\ \forall p \in P}} VXIwp * XIwp + \sum_{\substack{\forall n \in N \\ \forall p \in P}} VINnp * QNnp - \sum_{\substack{\forall l \in L \\ \forall p \in P}} CRbp * RDbp
 \end{aligned} \tag{04}$$

### Costos Empaque

$$\begin{aligned}
 & \sum_{\substack{\forall m \in M \\ \forall p \in P}} \frac{XEmp}{1000000} * HFEm * CHFE + Xmp * CIFE + \\
 & \sum_{\substack{\forall h \in H \\ \forall p \in P}} \left( \frac{XEmp}{1000000} * QHMhm \right) * VIHhp
 \end{aligned} \tag{05}$$

## 4.5. Restricciones

A continuación, se presentan las restricciones identificadas en el modelo:

### Costos Fleje Adelgazado

$$FLlp \geq \sum_{\forall k \in K} FFkp * UFAlk; \forall l \in L, \forall p \in P \tag{06}$$

---


$$Ysp = \sum_{\forall l \in L} \frac{FLlp}{1000} * QMPsl; \forall s \in S, \forall p \in P \tag{07}$$

---


$$RFbp = \sum_{\forall l \in L} \frac{FLlp}{1000} * QRCbl; \forall b \in B, \forall p \in P \quad (08)$$


---

$$RAbp = \sum_{\forall l \in L} \frac{FLlp}{1000} * RGAbL; \forall b \in B, \forall p \in P \quad (09)$$


---

$$\sum_{\forall l \in L} \frac{FLlp}{1000} * EAl + \sum_{\forall k \in K} \frac{FFkp}{1000} * EBk + \sum_{\forall k \in K} \frac{XSkp}{1000} * ECK \leq HF; \forall p \in P \quad (10)$$


---

$$\sum_{\forall p \in P} FLlp \geq CMFl; \forall l \in L \quad (11)$$


---

Se calcula la producción de fleje adelgazado tipo l para cada uno de los periodos del año (06) de acuerdo a lo requerido en el proceso de fabricación de fleje afinado, este estimado permite calcular los consumo de materias primas, metales puros (07), los reciclados tipo b que se consumen para completar la carga de fundición (08), así como la cantidad de reciclados que se generan en este proceso y que se convierten en un menor valor de los costos asociados a este proceso (09). En este grupo se presenta la restricción del área de Facos relacionada con la capacidad mensual de planta (10) en términos de horas hombre, por lo que dicha área la componen los tres macro procesos, fabricación de fleje adelgazado, fabricación de fleje afinado y fabricación de cospel y núcleo seleccionado. Finalmente se incluye una restricción para garantizar un mínimo de producción en fundición, o de fleje adelgazado tipo l. (11).

#### Restricciones Fleje Afinado

$$FFkp \leq XSkp; \forall k \in K, \forall p \in P \quad (12)$$


---

Para este grupo de procesos se calcula la producción a efectuar en cada periodo de acuerdo a las necesidades de cospel y núcleo seleccionado tipo k (12).

#### Restricciones Selección

$$FIkp \leq XSkp; \forall k \in K, \forall p \in P \quad (13)$$


---

$$FIkp + FFkp = XSkp; \forall k \in K, \forall p \in P \quad (14)$$


---

$$RCbp = \sum_{\forall k \in K} XSkp * RGCbk; \forall b \in B, \forall p \in P \quad (15)$$


---

$$QRrp = \sum_{\forall k \in K} \frac{XSkp}{1000} * QIRrk; \forall r \in R, \forall p \in P \quad (16)$$


---

$$\sum_{\forall p \in P} FIkp * VFIkp > 0; \forall k \in K \quad (17)$$


---

Para este grupo de macro procesos, se inicia estimando la cantidad de fleje importado requerido de acuerdo a los cospeles o núcleos fabricados en un periodo (13), con este estimado, se procede a garantizar que el fleje importado, más el fleje fabricado en planta, no supera las necesidades globales de la producción de núcleo y/o cospel de las denominaciones de \$200, \$500 y \$1,000(14). De igual forma, se estiman los reciclados que se generan en este proceso, de acuerdo a los estándares establecidos en la producción (15), Así mismo, se calculan los insumos tipo r, necesarios para los semielaborados fabricados en este macro proceso (16). Por último, se controla que semielaborado importado tipo k (fleje para núcleos o cospeles), se tendrán en cuenta, esto se lleva a cabo colocando el valor unitario en cero, de forma que el precio debe ser mayor a cero en cada insumo importado.

#### Restricciones Acuñaación

$$XCgp \leq \left( \sum_{\forall m \in M} \frac{XAmp}{1000000} * FCTgm \right) / 1000; \forall g \in G, \forall p \in P \quad (18)$$


---

$$XTgp \leq \left( \sum_{\forall m \in M} \frac{XAmp}{1000000} * FCTgm \right) / 1000; \forall g \in G, \forall p \in P \quad (19)$$


---

$$XCgp + XTgp = \left( \sum_{\forall m \in M} \frac{XAmp}{1000000} * FCTgm \right) / 1000; \forall g \in G, \forall p \in P \quad (20)$$


---



$$XS_{kp} = \left( \sum_{\forall m \in M} XAmp * FTCMkm \right) / 1000 + \sum_{\forall g \in G} \frac{XCgp}{1000} * FTCCkg; \forall k \in K, \forall p \in P \quad (21)$$


---

$$XK_{kp} = \left( \sum_{\forall m \in M} XAmp * FTCMkm \right) / 1000 + \sum_{\forall g \in G} \frac{XCgp}{1000} * FTCCkg; \forall k \in K, \forall p \in P \quad (22)$$


---

$$XS_{kp} + XK_{kp} = \left( \sum_{\forall m \in M} XAmp * FTCMkm \right) / 1000 + \sum_{\forall g \in G} \frac{XCgp}{1000} * FTCCkg; \forall k \in K, \forall p \in P \quad (23)$$


---

$$XI_{wp} = \left( \sum_{\forall m \in M} \frac{XAmp}{1000000} * FTWwm \right) / 1000; \forall w \in W, \forall p \in P \quad (24)$$


---

$$\sum_{\forall p \in P} XTgp * VGIgp > 0; \forall g \in G \quad (25)$$

$$\sum_{\forall p \in P} XK_{kp} * VKI_{kp} > 0; \forall k \in K$$


---

$$RD_{bp} = \sum_{\forall g \in G} \frac{XCgp}{1000} * RGD_{bp}; \forall b \in B, \forall p \in P \quad (26)$$


---

$$QN_{np} = \sum_{\forall m \in M} \frac{XAmp}{1000000} * QNM_{nm} + \sum_{\forall g \in G} \frac{XCgp}{1000} * QNG_{ng}; \forall n \in N, \forall p \in P \quad (27)$$


---

$$\sum_{\forall m \in M} \frac{XAmp}{1000000} * DA_{m} + \sum_{\forall g \in G} \frac{XCgp}{1000} * DT_{g} \leq HA; \forall p \in P \quad (28)$$


---

En este macro proceso se definen 11 restricciones, con las cuales se determina el flujo del proceso, se inicia con la definición de la cantidad de corona cortada fabricada en planta (18) y de la corona cortada importada (19), requeridas para la acuñación de la

moneda bimetálica de \$500 y \$1.000, posterior a ello se efectúa un balance del total de la corona importada y nacional, con respecto a las monedas para acuñar (20), Este mismo ejercicio se lleva a cabo para determinar las necesidades de cospel o núcleo nacional (21) e importado (22), balanceando el total de este semielaborado con relación a lo requerido en acuñación de moneda o corte de corona.

Adicional a estos cálculos, se estima el cospel con enchape de acero (24), para la moneda de \$50 y \$100, que necesariamente debe ser con material importado por lo que la Fábrica de Moneda no cuenta con la tecnología para procesar este metal. Con respecto al consumo de los insumos, estos se estiman con base en la moneda acuñada y corona cortada (27), los reciclados son calculados con respecto a la corona cortada, pues es allí donde se generan (26).

Con relación a los materiales importados, se controlarán por medio del costo unitario, por lo que se define las restricciones que nos garantizan que el costo de estos insumos sea mayor a cero (25), aquellos insumos que no se requiere importar se colocara en su valor unitario precio cero.

Finalmente, se controla la capacidad del área, de acuerdo a las horas hombre disponibles en cada periodo, la capacidad es fija en cada periodo tanto para este proceso como en los anteriores, para ellos estas capacidades fijas se definen en variables escalares.

### Restricciones Empaque

$$\sum_{\forall p \in P} X_{mp} \geq T_m; \forall m \in M \quad (29)$$

$$X_{mp} = X_{Amp}; \forall m \in M, \forall p \in P \quad (30)$$

$$QH_{hp} = \sum_{\forall m \in M} \frac{X_{mp}}{1000000} * QHM_{hm}; \forall h \in H, \forall p \in P \quad (31)$$

$$\sum_{\forall m \in M} \frac{X_{mp}}{1000000} * EEm \leq HE; \forall p \in P \quad (32)$$

Para este proceso productivo se definen cuatro restricciones, la primera de ellas, garantiza el cumplimiento del programa de necesidades del Departamento de Tesorería (29), se controla además la capacidad de las horas hombre disponibles de Empaque (32) de forma mensual, en cuanto a los inventarios se estiman los consumos insumos tipo h, utilizados en el empaque de la moneda de la denominación m (31), para calcular estos consumos se utiliza la lista de materiales definida en el sistema de información SAP. Se calcula además los consumos de moneda acuñada de la denominación m, balanceado con la moneda empacada de la denominación m, en un periodo p. (30).

#### Restricciones para validar costos y capacidad

$$VR_{XEm} = \sum_{\forall p \in P} \frac{Xmp}{1000000} * HFE_m * CHFE + Xmp * CIFE; \forall m \in M \quad (33)$$

---


$$VR_{QHh} = \sum_{\forall p \in P} QHhp * VIHhp; \forall h \in H \quad (34)$$

---


$$VR_{XAm} = \sum_{\forall p \in P} \frac{X Amp}{1000000} * HFD_m * CHFD + X Amp * CIFD; \forall m \in M \quad (35)$$

---


$$VR_{XIw} = \sum_{\forall p \in P} XIwp * VIXwp; \forall w \in W \quad (36)$$

---


$$VR_{XCg} = \sum_{\forall p \in P} \frac{XCgp}{1000} * HFT_g * CHFH + XCgp * CIFH; \forall g \in G \quad (37)$$

---


$$VR_{XTg} = \sum_{\forall p \in P} XTgp * VGIgp; \forall g \in G \quad (38)$$


---

---


$$VR_{XKk} = \sum_{\forall p \in P} XKkp * VKIkp; \forall k \in K \quad (39)$$


---

$$VR_{QNn} = \sum_{\forall p \in P} QNnp * VINnp; \forall n \in N \quad (40)$$


---

$$VR_{RDb} = \sum_{\forall p \in P} RDbp * CRbp; \forall b \in B \quad (41)$$


---

$$VR_{XSk} = \sum_{\forall p \in P} \frac{XSkp}{1000} * HFck * CHFC + XSkp * CIFC; \forall k \in K \quad (42)$$


---

$$VR_{FIk} = \sum_{\forall p \in P} FIkp * VFIkp; \forall k \in K \quad (43)$$


---

$$VR_{QRr} = \sum_{\forall p \in P} QRrp * VIRrp; \forall r \in R \quad (44)$$


---

$$VR_{RCb} = \sum_{\forall p \in P} RCbp * CRbp; \forall b \in B \quad (45)$$


---

$$VR_{FFk} = \sum_{\forall p \in P} \frac{FFkp}{1000} * HFBk * CHFB + FFkp * CIFB; \forall k \in K \quad (46)$$


---

$$VR_{FLl} = \sum_{\forall p \in P} \frac{FLlp}{1000} * HFAl * CHFA + FLlp * CIFA; \forall l \in L \quad (47)$$


---

$$VR_{YAs} = \sum_{\forall p \in P} Ysp/1000 * VMsp; \forall s \in K \quad (48)$$


---

$$VR_{RFb} = \sum_{\forall p \in P} RFbp * CRbp; \forall b \in B \quad (49)$$


---

---


$$VR\_RAb = \sum_{\forall p \in P} RAbp * CRbp ; \forall b \in B \quad (50)$$


---

$$HH\_ADp = \sum_{\forall l \in L} \frac{FLlp}{1000} * EAl ; \forall p \in P \quad (51)$$


---

$$HH\_AFp = \sum_{\forall k \in K} \frac{FFkp}{1000} * EBk ; \forall p \in P \quad (52)$$


---

$$HH\_SEp = \sum_{\forall s \in S} \frac{XSkp}{1000} * ECK ; \forall p \in P \quad (53)$$


---

$$HH\_ACp = \sum_{\forall m \in M} \frac{XAmp}{1000000} * DAm ; \forall p \in P \quad (54)$$


---

$$HH\_COp = \sum_{\forall g \in G} \frac{XCgp}{1000} * DTg ; \forall p \in P \quad (55)$$


---

$$HH\_EMp = \sum_{\forall m \in M} \frac{Xmp}{1000000} * EEm ; \forall p \in P \quad (56)$$


---

$$TO\_HHp = HH\_ADp + HH\_AFp + HH\_SEp ; \forall p \in P \quad (57)$$


---

$$TO\_HHp \geq HA * 0.9 ; \forall p \in P \quad (58)$$


---

$$TO\_HHp \leq HA ; \forall p \in P \quad (59)$$


---

Para validar los costos obtenidos en cada uno de los macro procesos productivos, se definieron las restricciones para conocer el valor estimado de la producción propuesta por

el modelo para cada producto: costo agregado fleje adelgazado (47), costo agregado fleje afinado (46), costo agregado semielaborado seleccionado (42), costo agregado corte de corona (37), costo agregado moneda acuñada (35) y costo agregado moneda empacada (33).

De igual forma, se definieron restricciones para conocer el consumo de los insumos en cada una de las etapas, así como de los materiales importados y metales puros de fundición: consumo insumos selección (44), consumo insumos acuñación (40), consumo insumos empaque de moneda (34), consumo de metales puros (48), consumo de fleje importado para cospel y núcleo seleccionado (43), consumo de cospel y núcleo importado (39), consumo de corona importada (40), consumo de cospel para la moneda de \$50 y \$100 (36), por último se estimaron los costos de los reciclados generados en los procesos y consumidos en fundición: costo reciclado generado en acuñación (41), costo reciclado generado en selección (45), costo generado un fundición (49) y costo consumido en fundición (50). Lo anterior permitió validar los costos generados de acuerdo a las tarifas y valores unitarios.

Adicionalmente, también se calculó de forma independiente las cantidades de horas hombre estimadas por el modelo para validar el uso de dicha capacidad mes a mes: horas hombre estimadas para fleje adelgazado (51), horas hombre estimadas para fleje afinado (52), horas hombre estimadas para cospel y núcleo seleccionado (53), horas hombre estimadas para moneda acuñada (54), horas hombre estimadas para corte de corona (55) y las horas para el empaque de la moneda (56).

Finalmente, se incluyen tres restricciones (57, 58 y 59) para garantizar una utilización de la capacidad de Facos, ya que en una corrida de sensibilización el modelo sugiere importar todo el semielaborado para el área de acuñación, y no utiliza la capacidad de los procesos anteriores. Para el modelo se determina que la utilización de la capacidad en el área de Facos, debe ser mayor al 90%. Los costos calculados por el modelo en este análisis de sensibilidad fueron del orden de los 344 mil millones de pesos, fabricando únicamente las 150 toneladas mínimas para fundición, utilizando para ello 540 horas hombre.

## Capítulo 5

### Resultados y pruebas computacionales.

#### 5.1. Infraestructura para realizar las corridas.

##### Software Utilizado.

Todo el modelo se va a correr sobre GAMS versión 23.5 utilizando el solver CPLEX versión 12.2.0.2.

##### Hardware Utilizado

El computador utilizado tiene las siguientes características:

- Procesador: Intel® Core TM i5 CPU @ 1.6 GHz – 1.8 GHz.
- RAM: 8 GB (7,89 Utilizable)
- Sistema Operativo: Windows 10.

#### 5.2. Parámetro de corrida.

Los parámetros utilizados para la corrida del modelo, son los datos de producción de la fábrica de moneda correspondiente al ejercicio 2019, de forma que pueda ser comparable con la realidad de la planta para este ejercicio.

##### Plan de producción:

Se encuentra en figura 21 (Parámetro  $T_m$ ), del modelo, el cual nos indica la producción global para el 2019 para cada una de las denominaciones en circulación.

$T_m$		Necesidades de Monedas (Millones)
Necesidades de Tesorería de Moneda	M50	-
	M100	12,200,000.00
Acuñada Tipo m	M200	-
	M500	40,800,000.00
	M1000	153,700,000.00

Figura No. 23 Necesidades globales de Tesorería



Los datos de listas de materiales y componentes utilizados, fueron obtenidos del sistema de información SAP mediante la transacción CS03.

Costo agregado de producción:

A continuación se explicará el procedimiento de cálculo para los costos agregados de cada macro proceso productivo, de forma general cada uno tuvo en cuenta las tarifas del costo plan estimadas para el 2019 y registradas en el sistema de información SAP, la transacción utilizada para descargar dicha información fue KP26, en combinación con los tiempos de fabricación tomados de las hojas de ruta del citado sistema, mediante la transacción CA03.

Las tarifas utilizadas por la Fábrica de Moneda para este costo agregado, son: mano de obra (PP-101), carga fabril (PP-102), energía (PP-103) y costo indirecto de fabricación (PP-104), de forma general la carga fabril incluye depreciación de maquinaria de producción, servicios públicos directos consumidos, consumos de insumos no registrados en las listas de materiales y otras depreciaciones directas; con respecto a la energía, este concepto se estima de forma independiente por el impacto en el consumo, debido a que los hornos de fundición son electroestáticos el consumo es significativo y un elemento a controlar permanentemente; y los costos indirectos son los costos administrativos, depreciaciones indirectas, seguros, mantenimientos, etc.

Las tarifas PP-101, PP102 y PP-103 son estimadas por hora, mientras que la tarifa de costos indirecto PP-104 se aplica por kilo procesado (área de Facos) o unidad (acuñación y empaque). Para la correcta aplicación del costo agregado en cada macro proceso, se suman las tarifas globales de cada clase de actividad de mano de obra, carga fabril y

energía, de los centros de costo agrupados en cada uno de estos macro procesos, la clase de actividad de costos indirectos CIF, se aplica directamente por cada unidad producida.

Cada tarifa fue determinada para el modelo, promediando las tarifas reales del sistema productivo de costos en SAP por cada proceso productivo y por cada actividad, al utilizar los promedios de las tarifas reales se pretende aproximar los costos agregados al modelo, como la producción es la misma en términos de productos terminados y similares en productos en proceso se espera la aplicación de todos los costos fijos reales para el 2019 en la producción estimada por el modelo.

A continuación se presentan los estimados para cada uno de ellos.

- Costo agregado fabricación de fleje adelgazado (CAI).

Unidad Base de Calculo Una Tonelada						Cant. Req. x Fleje Tipo I				
A	CAI	Centro de coste	Clase Actividad		Un.	Tarifa Global	ALB	ALA	CUA	
		IN1706201	FUNDICIÓN	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	16,631.25	1.4	1.4	2.5
		IN1706201	FUNDICIÓN	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	154,996.18	1.4	1.4	2.5
		IN1706201	FUNDICIÓN	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	67,792.04	1.4	1.4	2.5
		IN1706201	FUNDICIÓN	PP-107	FM - CIF - ADMINIST	Kilo	902.98	1000	1000	1000
		IN1706202	LAMINACIÓN	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	32,627.72	0.6	0.6	1.4
		IN1706202	LAMINACIÓN	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	559,368.64	0.6	0.6	1.4
		IN1706202	LAMINACIÓN	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	411,716.97	0.6	0.6	1.4
		IN1706202	LAMINACIÓN	PP-107	FM - CIF - ADMINIST	Kilo	1,471.57	1000	1000	1000
		IN1706203	RECOCIDO DE	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	28,614.17	0.9	0.9	1
		IN1706203	RECOCIDO DE	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	65,484.91	0.9	0.9	1
		IN1706203	RECOCIDO DE	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	98,799.10	0.9	0.9	1
		IN1706203	RECOCIDO DE	PP-107	FM - CIF - ADMINIST	Kilo	782.64	1000	1000	1000
<b>Valor Agregado de Producción x Tonelada Fabricada</b>					<b>1,439,188.17</b>	<b>Totales x Fleje Tipo I</b>				

Tabla 1 Base de cálculo costo agregado fabricación de fleje adelgazado

Estandares de Fabricación para Fleje Tipo I		
Horas Por Tonelada		
ALB	ALA	CUA
8.70	8.70	14.70

Costo Agregado x Hora Fab. (chfa)	\$ 1,436,031
Costo Agregado x Kilo (cifa)	\$ 3,157

Tabla 2 Estándar de fabricación y tarifa de costo agregado fleje adelgazado

- Costo agregado fabricación de fleje afinado (CBk).

Unidad Base de Calculo Una Tonelada						Cantidad Requerida x Fleje Tipo k						
B	CBk	Centro de coste	Clase Actividad	Un.	Tarifa Global	FCOS200	FCOS500	FNUC500	FCOS1000	FNUC1000		
		IN1706202	LAMINACIÓN	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	32,628	0.6	0.6	0.7	1.2	1.8
		IN1706202	LAMINACIÓN	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	559,369	0.6	0.6	0.7	1.2	1.8
		IN1706202	LAMINACIÓN	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	411,717	0.6	0.6	0.7	1.2	1.8
		IN1706202	LAMINACIÓN	PP-107	FM - CIF - ADMINIST	Kilo	1,472	1000	1000	1000	1000	1000
Valor Agregado de Producción x Tonelada Fabricada					1,005,185	Totales x Semielaborado Tipo k						

Tabla 3 Base de cálculo costo agregado fabricación de fleje afinado

Estandares de Fabricación para Fleje Tipo k				
Horas Por Tonelada				
FCOS200	FCOS500	FNUC500	FCOS1000	FNUC1000
1.8	1.8	2.1	3.6	5.4

Costo Agregado x Hora Fab. (chfb)	\$ 1,003,713
Costo Agregado x Kilo (cifb)	\$ 1,472

Tabla 4 Estándar de fabricación y tarifa de costo agregado fleje afinado

- Costo agregado fabricación de cospel y núcleo (CCK).

Unidad Base de Calculo Una Tonelada						Cantidad Requerida x Cospel o Núcleo Tipo k						
C	Cck	Centro de coste	Clase Actividad	Un.	Tarifa Global	FCOS200	FCOS500	FNUC500	FCOS1000	FNUC1000		
		IN1706204	TROQUELADO	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	53,895	2.8	2	3	1.6	3
		IN1706204	TROQUELADO	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	148,536	2.8	1.6	2.6	1.6	3
		IN1706204	TROQUELADO	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	17,180	2.8	1.6	2.6	1.6	3
		IN1706204	TROQUELADO	PP-107	FM - CIF - ADMINIST	Kilo	894	1000	1000	1000	1000	1000
		IN1706205	REBORDEO	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	56,946	2.9	3	0	6.4	0
		IN1706205	REBORDEO	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	70,025	2.9	2.9	0	6.4	0
		IN1706205	REBORDEO	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	3,880	2.9	2.9	0	6.4	0
		IN1706205	REBORDEO	PP-107	FM - CIF - ADMINIST	Kilo	848	1000	1000	1000	1000	1000
		IN1706206	REC. COSPEL	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	49,426	3.8	4	3.7	3.8	3.7
		IN1706206	REC. COSPEL	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	31,666	3.8	3.8	3.7	3.8	3.7
		IN1706206	REC. COSPEL	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	104,626	3.8	3.8	3.7	3.8	3.7
		IN1706206	REC. COSPEL	PP-107	FM - CIF - ADMINIST	Kilo	809	1000	1000	1000	1000	1000
		IN1706207	LAVADO	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	41,842	2.8	2	2.6	2.1	3.7
		IN1706207	LAVADO	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	107,108	2.8	2.2	2.6	2.1	3.7
		IN1706207	LAVADO	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	46,823	2.8	2.2	2.6	2.1	3.7
		IN1706207	LAVADO	PP-107	FM - CIF - ADMINIST	Kilo	803	1000	1000	1000	1000	1000
		IN1706208	SELECCIÓN	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	63,410	2.6	2	2.7	2	2.3
		IN1706208	SELECCIÓN	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	88,627	2.6	1.4	2.7	1.5	2.3
		IN1706208	SELECCIÓN	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	3,710	2.6	1.4	2.7	1.5	2.3
		IN1706208	SELECCIÓN	PP-107	FM - CIF - ADMINIST	Kilo	834	1000	1000	1000	1000	1000
		Valor Agregado de Producción x Tonelada Fabricada					891,890	Totales x Semielaborado Tipo k				

Tabla 5 Base de cálculo costo agregado fabricación de cospel y núcleo seleccionado

Estandares de Fabricación para Cospel y Núcleo Tipo k				
Horas Por Tonelada				
FCOS200	FCOS500	FNUC500	FCOS1000	FNUC1000
44.70	36.80	35.20	46.70	38.10

Costo Agregado x Hora Fab.	\$ 887,701
Costo Agregado x Kilo	\$ 4,189

Tabla 6 Estándar de fabricación y tarifa de costo agregado de cospel y núcleo

- Costo agregado fabricación de moneda acuñada (CDm) y corona cortada (CHg).

Unidad Base de Calculo Un Millón de Unidades						Cantidad Requerida x Denominación Tipo m					Costo Calculado x Denominación Tipo m					
D	Centro de coste	Clase Actividad	Un.	Tarifa Global		50	100	200	500	1000	50	100	200	500	1000	
						CDm	IN1706209	PREPARACIÓN	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	117,216	0	0	1.4	2.3
	IN1706209	PREPARACIÓN	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	36,757	0	0	1.1	2	1.6	\$ -	\$ -	\$ 40,433	\$ 73,515	\$ 58,812
	IN1706209	PREPARACIÓN	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	2,660	0	0	1.1	2	1.6	\$ -	\$ -	\$ 2,926	\$ 5,319	\$ 4,256
	IN1706209	PREPARACIÓN	PP-107	FM - CIF - ADMINISTR	Kilo	832	0	0	1000	1000	1000	\$ -	\$ -	\$ 832,360	\$ 832,360	\$ 832,360
CHm	IN1706210	ACUÑACIÓN	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora	49,675	34.6	34.6	34.6	38.8	35.5	\$ 1,718,743	\$ 1,718,743	\$ 1,718,743	\$ 1,927,377	\$ 1,763,450
	IN1706210	ACUÑACIÓN	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	110,731	23.2	23.2	23.2	27.1	24.8	\$ 2,568,959	\$ 2,568,959	\$ 2,568,959	\$ 3,000,809	\$ 2,746,128
	IN1706210	ACUÑACIÓN	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	7,396	23.2	23.2	23.2	27.1	24.8	\$ 171,588	\$ 171,588	\$ 171,588	\$ 200,433	\$ 183,422
	IN1706210	ACUÑACIÓN	PP-107	FM - CIF - ADMINISTR	Unidad	13	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	\$ 12,910,000	\$ 12,910,000	\$ 12,910,000	\$ 12,910,000	\$ 12,910,000
	Valor Agregado de Producción x Tonelada Fabricada					325,280	Totales x Denominación Tipo m					\$ 17,369,290	\$ 17,369,290	\$ 18,409,111	\$ 19,219,409	\$ 18,721,138

Tabla 7 Base de cálculo costo agregado fabricación moneda acuñada y corona cortada

Estandares de Fabricación para Moneda Acuñada Tipo m				
Horas Por Millon				
50	100	200	500	1000
81.00	81.00	84.60	99.30	90.20

Costo Agregado x Hora Fab.	\$ 524,434
Costo Agregado x Unidad	\$ 845

Tabla 8 Estándar de fabricación y tarifa de costo agregado de moneda acuñada

Est Fab. para Corte de Cor Tipo g	
Horas Por Millon	
COR500	COR1000
93	85.1

Costo Agregado x Hora Fab.	\$ 267,802
Costo Agregado x Kilo	\$ 12,910

Tabla 9 Estándar de fabricación y tarifa de costo agregado de corona cortada

- Costo agregado fabricación de moneda empacada (CEm).

Unidad Base de Calculo Un Millón de Unidades						Cantidad Requerida x Denominación Tipo m					
E	Centro de coste	Clase Actividad	Un.	Tarifa Global		50	100	200	500	1000	
						CEm	IN1706211	EMPAQUE	PP-101	FM - MANO DE OBRA	Hora
	IN1706211	EMPAQUE	PP-102	FM - CARGA FABRIL	Hora	53,863	40	40	40	80	80
	IN1706211	EMPAQUE	PP-103	FM - ENERGIA	Hora	15,149	40	40	40	80	80
	IN1706211	EMPAQUE	PP-107	FM - CIF - ADMINISTR	Unidad	22	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000
	Valor Agregado de Producción x Tonelada Fabricada					123,156	Totales x Denominación Tipo m				

Tabla 10 Costo agregado fabricación de moneda empacada

Estandares de Fabricación para Moneda Empacada Tipo m				
Horas Por Millon				
50	100	200	500	1000
90	90	90	192	192

Costo Agregado x Hora Fab.	\$ 123,134
Costo Agregado x Unidad	\$ 22

*Tabla 11 Estándar de fabricación y tarifa de costo agregado de moneda empacada*  
*Tabla 12*

Parámetros de capacidad:

A continuación se explicará el procedimiento de cálculo para la capacidad disponible en cada macro proceso, la cual considera la cantidad de personas, las horas laborables por día y los días hábiles en el mes, estas consideraciones permiten el cálculo del tiempo disponible en el mes, a este cálculo le descontamos el tiempo improductivo que se estimó en 1.75 horas, contemplando el tiempo de almuerzo, cambio de ropa y un descanso auditivo.

A continuación se presentan los estimados para cada uno de ellos:

- Horas hombre disponibles para el área de Facos (HF)

HEp = Horas Hombre disponibles en un período p, para el proceso de empaque, valor constante	
No. Personas disponibles para el proceso	3.00
Horas Diarias Disponibles	9.00
Número de Días Laborables x Mes	22.00
Tiempo Bruto Disponible	594.00
Tiempo Diario Improductivo (Almuerzo 45 m, Cambio Ropa 30, Desc. Aud. 15 m)	1.75
Total Tiempo Disponible	555.50

*Tabla 13 Cálculo de las horas disponibles en Facos*

- Horas hombre disponibles para Acuñación (HA)

<b>HA<sub>p</sub> = Horas Hombre disponibles en un periodo p, para el proceso de acuñación, valor constante</b>	
No. Personas disponibles para el proceso	6.00
Horas Diarias Disponibles	9.00
Número de Días Laborables x Semana	22.00
Tiempo Bruto Disponible	1,188.00
Tiempo Diario Improductivo (Almuerzo 45 m, Cambio Ropa 30, Desc. Aud. 15 m)	1.75
<b>Total Tiempo Disponible</b>	<b>1,149.50</b>
Enero	1,149.50
Febrero	1,149.50
Marzo	1,149.50
Abril	1,149.50
Mayo	1,149.50
Junio	1,149.50
Julio	1,149.50
Agosto	1,149.50
Septiembre	1,149.50
Octubre	1,149.50
Noviembre	1,149.50
Diciembre	1,149.50

*Tabla 14 Cálculo de las horas disponibles en Acuñación*

- Horas hombre disponibles para Empaque (HE)

<b>HE<sub>p</sub> = Horas Hombre disponibles en un periodo p, para el proceso de facos valor constante</b>	
No. Personas disponibles para el proceso	12.00
Horas Diarias Disponibles	9.00
Número de Días Laborables x Semana	22.00
Tiempo Bruto Disponible	2,376.00
Tiempo Diario Improductivo (Almuerzo 45 m, Cambio Ropa 30, Desc. Aud. 15 m)	1.75
<b>Total Tiempo Disponible</b>	<b>2,337.50</b>
Enero	2,337.50
Febrero	2,337.50
Marzo	2,337.50
Abril	2,337.50
Mayo	2,337.50
Junio	2,337.50
Julio	2,337.50
Agosto	2,337.50
Septiembre	2,337.50
Octubre	2,337.50
Noviembre	2,337.50
Diciembre	2,337.50

*Tabla 15 Cálculo de las horas disponibles en Empaque*

### 5.3.Resultados de la corrida.

#### Tiempos de Ejecución:

- Compilación de los datos de entrada (min): 4,8
- Solución del modelo (seg): 16

#### Dimensión del modelo:

- Bloque de Restricciones: 16

- Bloque de variables: 11
- Ecuaciones individuales: 4.190
- Variables individuales: 67.671
- Variables discretas: 67.636

### Resultados iniciales:

Función Objetivo (Z): El resultado del modelo arroja una solución óptima para el costo de la producción para el ejercicio 2019 de: \$ 362.305.884.624, a continuación, se presentan los datos obtenidos para las principales variables, iniciando con el programa de entregas al Departamento de Tesorería.

Al comparar el plan de entregas sugerido con el real, se observa una distribución en las entregas de las necesidades globales más homogénea y se efectúan entregas en todos los meses del año, esto podría favorecer en la distribución de los costos fijos y generar un costo de producción más balanceado durante todo el ejercicio. Para efecto de la comparación el programa de entregas y de producción es el mismo.

COMPARATIVO DE PROGRAMA DE ENTREGAS A TESORERÍA SUGERIDO VS REAL													
	ENE.	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
MONEDA \$50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MONEDA \$100	-	-	-	12,200,000	-	-	-	-	-	-	-	-	12,200,000
MONEDA \$200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MONEDA \$500	2,393,750	-	17,343,750	13,288,480	-	7,774,020	-	-	-	-	-	-	40,800,000
MONEDA \$1.000	14,950,000	17,343,750	-	-	17,343,750	-	17,343,750	17,343,750	17,343,750	17,343,750	17,343,750	17,343,750	153,700,000
TOTALES	17,343,750	17,343,750	17,343,750	25,488,480	17,343,750	7,774,020	17,343,750	17,343,750	17,343,750	17,343,750	17,343,750	17,343,750	206,700,000

	Plan Sugerido
	Plan Real

*Tabla 16 Comparativo del Programa de Entregas y de Acuñación*

Con relación al plan de producción de fleje adelgazado, el modelo garantiza la cantidad mínima a producir en el año, de acuerdo con la restricción establecida para ello. Este año en particular la línea de fundición sufrió un problema técnico relacionado con que impidió generar más de este tipo de fleje.

COMPARATIVO DE PROGRAMA DE PRODUCCION SUGERIDO VS REAL													
	ENE.	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
<b>FABRICACIÓN DE FLEJE ADELGAZADO</b>													
ALB	-	-	1,956	6,928	-	-	-	-	-	-	43,072	-	50,000
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,956
ALA	-	9,655	1,230	-	-	9,655	-	-	-	-	6,667	22,793	50,000
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CUA	-	-	-	50,000	-	-	-	-	-	-	-	-	50,000
	-	18,538	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18,538
<b>TOTALES</b>	-	9,655	1,230	56,928	-	9,655	-	-	-	-	49,739	22,793	150,000
	-	18,538	1,956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,494

Plan Sugerido  
 Plan Real

*Tabla 17 Comparativo del Programa de Producción de Fleje Adelgazado*

Para el fleje afinado, el sistema concordó con la producción del cospel de la corona de la monde de \$1.000, sin embargo la planta entró a la línea cospel de la moneda de \$200, sin tener entregas planeadas para el 2019, adicional proceso la producción de fleje adelgazado.

COMPARATIVO DE PROGRAMA DE PRODUCCION SUGERIDO VS REAL													
	ENE.	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
<b>FABRICACIÓN DE FLEJE AFINADO</b>													
FCOS200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	1,048	50,545	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51,593
FNUC500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FCOS500	-	-	-	50,000	-	-	-	-	-	-	-	-	50,000
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FNUC1000	-	9,655	-	1,230	-	9,655	-	-	-	-	6,668	22,792	50,000
	-	55,440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55,440
FCOS1000	-	-	-	6,929	-	-	-	-	-	-	43,071	-	50,000
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTALES</b>	-	9,655	-	58,159	-	9,655	-	-	-	-	49,739	22,792	150,000
	-	56,487	50,545	-	-	-	-	-	-	-	-	-	107,032

Plan Sugerido  
 Plan Real

*Tabla 18 Comparativo del Programa de Producción de Fleje Afinado*



COMPARATIVO DE PROGRAMA DE PRODUCCION SUGERIDO VS REAL													
	ENE.	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAL
FABRICACIÓN DE COSPEL Y NUCLEO													
FCOS200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	76,577	113,915	151,236	-	-	-	-	-	-	-	341,728
FNUC500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FCOS500	-	-	-	50,000	-	-	-	-	-	-	-	-	50,000
		90,936	-	-	286,747	-	-	-	-	-	-	-	377,683
FNUC1000		9,655		1,229		9,655					6,668	22,794	50,000
		22,976	222,033	62,341	-	-	-	373,718	294,533	535,029	104,416		1,615,045
FCOS1000	65,038	54,412	65,038	6,929	65,038	54,412	65,038	65,038	65,038	65,038	43,071	39,950	654,038
		185,002	233,562	285,288	590,546	1,026,729	1,316,442	882,493	940,086	612,272	510,478		6,582,896
TOTALES	65,038	64,066	65,038	58,158	65,038	64,066	65,038	65,038	65,038	65,038	49,739	62,744	754,038
	-	298,914	532,172	461,543	1,028,528	1,026,729	1,316,442	1,256,211	1,234,619	1,147,301	614,894	-	8,917,350

	Plan Sugerido
	Plan Real

Tabla 19 Comparativo del Programa de Producción de Cospel y Núcleo

Se llevó a cabo un análisis en este último proceso dada las diferencias marcadas en cada material, para el cospel de \$500 la diferencia presento una cantidad cerca de 320 toneladas, el análisis arroja un mayor consumo de material reciclado y sumado con el inventario inicial de este material, la diferencia se reduciría alrededor de las 3 o 4 toneladas.

Con relación al núcleo de \$1.000, la diferencia sumando el inventario inicial más el consumo de material importado sugerido por el modelo, la diferencia se reduce a 20 toneladas, para el cospel de \$1.000 haciendo el mismo ejercicio, la diferencia se reduce a 40 toneladas en el año.

Material	Diferencia	Cons. Mat. Import.	Inventario Inicial	Inv. Ini. + Mat Import
FCOS500	327,683	164,445	158,991	323,436
FNUC1000	1,565,045	590,929	997,994	1,588,923
FCOS1000	5,928,858	2,958,140	2,924,653	5,882,793

Tabla 20 Análisis Diferencia Producción de Cospel y Núcleo

## **Capítulo 6**

### **Implementación del modelo matemático.**

Se llevó a cabo el desarrollo de un proyector de costos, que permita mostrar de una forma más simple para la administración, los resultados del modelo ejecutado, este desarrollo que en esencia es un proyector del modelo de costeo de producción, utilizado por las plantas industriales y que se encuentra adaptado al Sistema de Información SAP adquirido por el Banco, este sistema toma el programa propuesto por el modelo matemático y lo costea material a material, proceso a proceso.

Este proyector, permite costear la producción con el mismo método que se ha determinado por las áreas contables del Banco, y costea, además de los materiales utilizados, los siguientes costos de transformación: mano de obra, carga fabril, energía y costos indirectos administrativos.

Las cantidades de las actividades mencionadas anteriormente requeridas para el programa de producción se estiman de acuerdo a los estándares ya establecidos en la planta.

Previo a esta actividad, se debe tener en el modelo de costos, los inventarios actuales y los valores estimados para las actividades de mano de obra, carga fabril, energía y costos indirectos.

A continuación, se detalla brevemente el proyector de costos antes mencionado:

- Ingreso: Consta de un mecanismo de validación de usuario y contraseña.



*Figura No. 24 Pantalla de ingreso para el proyector de costos*

- Se cuenta con un menú principal, para llevar a cabo las actividades necesarias para el simulador de costos, tales como; cargue de información gestión de inventarios, ejecución del proyector y reportes del proceso.



*Figura No. 25 Pantalla del menú principal*

En la gestión de inventarios el desarrollo a partir de los saldos iniciales y el programa de compras de periodos futuros, garantiza las cantidades necesarias de cada una de las listas de materiales de los productos a fabricar.

Paso 1 - Actividad 1001  
Banco de la República - Borrarsaldos de Materiales - Administrador General del Sistema

Borrar Saldos Cargar Saldos Iniciales Cargar Prog. Compras

Código	Descripción	Cantidad	Valor Inv.	Precio Medo
1014790	TROQUEL \$100 CARA - TJC - USADO	88.00	88.00	1.00
1014791	TROQUEL \$100 SELLO - TJS - USADO	85.00	85.00	1.00
1014794	TROQUEL \$200 CARA - TLC - USADO	0.00	0.00	0.00
1014795	TROQUEL \$200 SELLO - TLS - USADO	0.00	0.00	0.00
1014796	TROQUEL \$50 CARA - THC - USADO	56.00	56.00	1.00
1014800	TROQUEL \$50 SELLO - THS - USADO	51.00	51.00	1.00
1014809	TROQUEL \$500 CARA - TKC - USADO	99.00	99.00	1.00
1014810	TROQUEL \$500 SELLO - TKS - USADO	99.00	99.00	1.00
1018656	TROQUEL \$1000 CARA - TMC - USADO	71.90	71.90	1.00
1018657	TROQUEL \$1000 SELLO - TMS - USADO	72.98	72.98	1.00
1021788	TROQUEL \$5000 CARA USADO TPC S. LAURA	40.00	40.00	1.00
1021789	TROQUEL \$5000 SELLO USADO TPS S. LAURA	30.00	30.00	1.00
2050005	MONEDA TERMINADA DE \$1.000 - BOLSA	8.900.000.00		
2050010	MONEDA \$500 ENCARTRUCHADA	0.00	0.00	0.00
2050052	MONEDA \$50 NVO DISEÑO EMPAC EN BOLSA IMP	0.00	0.00	0.00
2050053	MONEDA \$500 NVO DISEÑO EMPACADA EN BOLSA	0.00	0.00	0.00
2050062	MONEDA \$200 NVO DISEÑO EMPACADA EN BOLSA	0.00	0.00	0.00
2050063	MONEDA \$100 NVO DISEÑO EMPACADA EN BOLSA	37.326.000.00		
2050122	MONEDA EMPAQUE \$200 DE COSPEL IMPORTADO	0.00	0.00	0.00
2050142	MONEDA EMPAQUE DE \$1.000 - BOLSA	0.00	0.00	0.00

SGIT10201 | Administrador General del Sistema | Se cargaron 232 registros de materiales.

Figura No. 26 Pantalla para la gestión de inventarios

Una vez los datos para los cálculos están cargados en el proyector, el mismo procede a estimar los valores de cada uno de los materiales a fabricar, estando en la capacidad de detallar: costos de materiales, incluidos cada uno de los materiales requeridos, y costos de transformación, detallado por cada elemento, mano de obra, carga fabril, energía y costos administrativos indirectos.

Programa de Producción Faltantes de Inventario Costos de Producción Reciclados Generados

2 of 5 100% Find | Next

### Costo por Orden de Producción

BN1786284 TROQUELADO

9080148 3086284 DISCO ALPACA BLANCA \$500 TROQUELADO ABR

Costos de Generales		Costos de Materiales		Costos de Transformación		
Cantidad	11,787.50	Costo de Materiales	17.13	Mano de Obra	45.00 Horas	610.55
Costo Total Orden	270.8	Valor Reciclados	-97,303.8	Carga Fabril	26.25 Horas	129.54
Valor Unitario	55.85			Consumo de Energía Elec.	26.25 Horas	274.21
				Costos Indirectos Fab.	11,787.50 Und	585.25
				Depreciación Activos	11,787.50 Und	0.00
		<b>Total Materiales</b>	<b>254,818,318.13</b>	<b>Total Costos Transformación</b>		<b>24,838,595.55</b>

Detalle de los movimientos de materiales registrados en la orden.

3006284	DISCO ALPACA BLANCA \$500 TROQUELADO	11,787.50	317.68	101	555.85
3006144	FLEJE ALPACA BLANCA \$500 CORONA LAMIN 2	17,066.00	187.13	261	332.50
4050326	RECLADO ALEACION ALPACA BLANCA - GENER	5,278.50	369.00	531	134.00

9080688 3086486 DISCO ALPACA BLANCA \$500 TROQU (F.FE.IMP) ABR

Figura No. 27 Reportes de los costos calculados para un material.

Aplicando el plan de producción y de entregas sugerido por el modelo, se costeo el plan de producción generando unos costos totales cercanos a los 362 mil millones de

pesos. Cabe decir que el modelo ha sido comparado con el programa real teniendo una diferencia cercana a los 15 mil millones de pesos en todo el año.

Paso 3 - Actividad 3001  
Banco de la República - Costear Programa de Producción - Administrador General del Sistema  
Costear Programa Prod.

Programa de Producción Faltantes de Inventario Costos de Producción Reciclados Generados

1 of 1 150% Find | Next

**Programa de Producción - Simulación**

		FEB	MAR	ABR	JUN	NOV	DIC	Total Ejec.
FUNDICION	FLEJE ALPACA BLANCA FUNDICION			6,928		43,072		50,000
	<b>Total Centro de Costo</b>			6,928		43,072		50,000
LAMINACION	FLEJE ALPACA BLANCA LAMINACION 1	9,655	1,230		9,655	6,667	22,793	50,000
	<b>Total Centro de Costo</b>	9,655	1,230		9,655	6,667	22,793	50,000
RECOC. DE FLEJE	FLEJE ALPACA BLANCA RECOCIDO			50,000				50,000
	<b>Total Centro de Costo</b>			50,000				50,000

12/16/2019 5:03:25 PM Generado por: BANREPNTvfajarbe

Figura No. 28 Plan de producción sugerido incluido en el modelo

Programa de Producción Faltantes de Inventario Costos de Producción Reciclados Generados

5 of 11 100% Find | Next

**Costeo del Programa de Producción** SIMPRO

4050546	BRIQUETAS CUALNI VIRUTA NUEVA	69.08	0.00	261	0.00		
9900037	3050001 FLEJE CUALNI FUNDICION						OCT
<b>Costos de Generales</b>		<b>Costos de Materiales</b>		<b>Costos de Transformación</b>			
Cantidad	14,750.00	Costo de Materiales	171,067,895.02	Mano de Obra	21.00	Horas	0.00
Costo Total Orden	171,067,895.02	Valor Reciclados	0.00	Carga Fabril	21.00	Horas	0.00
Valor Unitario	11,597.82			Consumo de Energía Elec.	21.00	Horas	0.00
				Costos Indirectos Fab.	14,750.00	Und	0.00
				Depreciación Activos	14,750.00	Und	0.00
		<b>Total Materiales</b>	<b>171,067,895.02</b>	<b>Total Costos Transformación</b>			<b>0.00</b>
<b>Detalle de los movimientos de materiales registrados en la orden.</b>							
3050001	FLEJE CUALNI FUNDICION	14,750.00	171,067,895.02	101			11,597.82
4006621	BLOQUE GRAFITO REF.4560 1230X510X400mm	4.43	138,137,495.03	261			31,217,513.00
4006266	MANGANESO EN ESCAMAS 99.5%	1.48	26,866.40	261			18,214.51
4006268	SILICIO METALICO	1.48	14,754.63	261			10,003.14
4006269	MAGNESIO METALICO 99.9%	1.48	19,282.14	261			13,072.64
4050021	ALUMINIO ADQUISICIÓN NACIONAL 99.7%	150.45	1,503,296.40	261			9,992.00
4050022	NIQUEL ELECTROLITICO PUREZA 99.90%	48.68	1,564,327.86	261			32,138.22
4050023	COBRE ELECTROLITICO PUREZA 99.95%	1,668.23	29,671,984.06	261			17,786.56
4050025	LINGOTE RECUPERADO CUALNI ESCORIA	982.35	0.00	261			0.00
4050048	LINGOTE RECUPERADO CUALNI BLOQUE	452.83	0.00	261			0.00
4050054	RECICLADO ALEACION CUALNI NUEVO	11,661.35	0.00	261			0.00
4050627	NITROGENO LIQUIDO LIN	14.75	129,888.50	261			8,806.00
4050546	BRIQUETAS CUALNI VIRUTA NUEVA	2,200.70	0.00	261			0.00

Figura No. 29 Orden costeada con el proyector de costos, para octubre 2019 para la aleación tipo CUA

## **Capítulo 7**

### **Conclusiones.**

La metodología aplicada, puede garantizar una forma adecuada de poder estimar un plan óptimo de producción, hasta llegar a los detalles de costos de fabricación, tan importantes para la alta gerencia, presentándolos de una forma sencilla de interpretar y analizar.

Comparados los resultados del modelo con la realidad de la Fábrica para el 2019, se estima importante, considerar que el modelo contemple incluir restricciones que permitan garantizar inventarios al final del ejercicio, para un inicio liviano de del programa de producción del años inmediatamente siguiente, y que dichas necesidades se sumen al programa de producción sugerido del año en estudio.

El modelo corrió en el simulador de forma adecuada dando unos cálculos similares por grupos de proceso, para efectos de validar el modelo, se tomó el proceso de fleje adelgazado, el cual por ser el primer proceso es comparable, y para dichos proceso por ejemplo, los costos generados por el simulador estuvieron cerca de los 10.676 millones, mientras que en el simulador la misma producción tuvo un costo de aproximado de 10.431 millones teniendo una variación cercada al 2.3%.

Efectuando los ajustes relacionados con los inventarios, el modelo serviría de forma confiable para establecer el plan inicial del programa de entregas a tesorería, para iniciar con este Departamento los acuerdos correspondientes para llegar así al plan definitivo.

Revisando los costos planeados globales del modelo versus la producción ejecutada en el 2019, utilizando las tarifas reales de las actividades costeadas, se observa un ahorro

cercano a los 15 millones de pesos, lo anterior tendría que validarse con los planes de compra y los inventarios iniciales de los semielaborados importados que se necesitarían para atender el programa de producción sugerido.

CUENTA	DESC. CUENTA	SALDO A 30 NOV 2019
5740020100	COSTOS APLICADOS A LA PRODUCCION (CR)	-\$ 377,888,920,453
5740020200	COSTOS APLICADOS A LA PRODUCCION (DB)	\$ 314,089,300,771
5740040200	COSTO REAL ML DIFERENCIAS EN PRECIO (PRD/KDM)	\$ 25,574,170,513
5740040300	COSTO REAL ML DIF. CAMBIO ML (PRV/KDV)	\$ 0
5740040500	COSTO REAL ML DIF. PRECIO ML (PRY)	-\$ 25,574,170,513
5740040600	COSTO REAL ML VALORA POSTERI DE OTR CONSUMOS (COC)	\$ 18,173,021
<b>Total general</b>		<b>\$ 0</b>

*Tabla 21 Costos reales aplicados con tarifas plan – sistema de información SAP*

Costo Planeado de Producción Fábrica de Moneda	\$ 377,888,000,000
Costo Planeado de Producción Modelo Matemático	\$ 362,305,884,624
<b>Diferencia en Costos</b>	<b>\$ 15,582,115,376</b>

*Tabla 22 Diferencia en los costos globales de producción*

Los anteriores costos no incluyen la producción en el área de Facos, para los semielaborados de la moneda de \$200, que están alrededor de los \$9,110,000,000, el ahorro estimado que estaría dando con la aplicación del modelo en total, serian del orden de los 6.400 millones de pesos.

Finalmente, y como conclusión final, podemos suponer que el modelo aunque no puede ser aplicado directamente en otros procesos productivos, por la particularidad de la Fábrica de Moneda, si se puede aplicar el esquema utilizado o los procedimientos determinados para algunos temas comunes, como:

- La forma de cómo se aplicaron los costos agregados utilizando tarifas plan, en otros procesos se podría pensar en simplificar la cantidad de tarifas dejando las

más relevantes en modelo de costos, como lo son: costos indirectos de fabricación y mano de Obra.

- La forma como se agruparon procesos claves dentro del proceso productivo, pues este esquema simplificó el modelo matemático y mejoro considerablemente el desempeño en las herramientas de simulación durante su ejecución.
- La forma como se manejó las restricciones de capacidad, pues así como en la Fábrica, existirán empresas donde la capacidad está determinada necesariamente por el recurso humano.
- La utilización de una herramienta, para efectuar una proyección de costos, material a material y proceso a proceso, esto da una mejor idea de lo que un modelo de este tipo puede ofrecer a las organizaciones, dicha herramienta no debe ser necesariamente desarrollos complejos, podría pensarse en una hoja de electrónica muy bien estructurada que refleje la forma de cómo se costea en dicha empresa.

### **7.1. Aspectos por mejorar al modelo implementado**

Finalizada la implementación del modelo y efectuados los análisis, se denotan varios temas en los que el modelo puede ser susceptible de mejora, que afinarían mucho más el esquema de planificación. Estos temas se indican a continuación:

- Considerar restricciones de inventarios de producto en proceso, así como de las necesarias para incluir la producción planeada no ejecutada en cada uno de los periodos, de forma que se pueda: i) incluir el stock de seguridad de cada uno de los productos semielaborados, esto consideraría los inventarios a iniciar en el



siguiente ejercicio fiscal y dejaría mejor preparada a la Fábrica para su nuevo escenario de producción; y ii) ajustar la programación de los siguientes periodos del modelo.

- Preparar el modelo para tener más escenarios relacionados con las cargas de fundición, así como considerar que la producción de fundición de programe por cada denominación en una sola corrida.
- Incluir restricciones que permitan cubrir las necesidades de materias primas a ser abastecidas, de forma que la Fábrica tenga un plan inicial de compra para los siguientes ejercicios fiscales.
- Optimizar la manera que se extrae la información generada por el modelo, de forma que no se tenga que realizar manualmente, recorriendo el archivo del log.

## **7.2 Impactos estimados actuales y futuros**

Finalizada la aplicación del modelo se procede a estimar los impactos de este en el proceso productivo y el esquema actual de costos de la Fábrica de Moneda, a continuación se describen dichas estimaciones en dos grupos de impacto, uno relacionado con el proceso productivo y otro con los financieros y de costos.

### Impactos sobre el proceso productivo

- Mejoramiento de la productividad y competitividad: Se estima que con una mejor utilización de los recursos actuales bajo el nuevo esquema de producción, se podrá disminuir la utilización de horas extras en algunos periodos del año, por lo que el modelo considera utilizar la capacidad total del personal actual en todos los meses.

- Mejor utilización de los equipos productivos.
- Se estima una mejoría en los inventarios de productos reciclados, generados en el proceso productivo.

#### Impactos financieros y de costos

- Se lograría una mejor distribución de los costos aplicados, reduciendo las variaciones en los costos reales al final de cada periodo contable.
- Al tener una disminución de las horas extras, se espera reducir los costos fijos que asume la producción fabricada en ese periodo, así mismo se estima tener una mejor utilización de la capacidad actual de la planta, mejorando la estimación de tarifas de actividades.

### Lista de referencias

- Almeder, C. (enero de 2010). A hybrid optimization approach for multi-level capacitated lot-sizing problem. *European Journal of Operational Research*, vol. 200, no. 2, pp. 599-606.
- Arango, M., Gaviria, C., & Vergara, H. (junio de 2010). Modelización difusa para la planificación agregada de la producción en ambientes de incertidumbre. *Dyna*, vol. 162, p. 397-409.
- Arango, M., Álvarez, C., & Serna, K. (2009). Modelos difusos aplicados a la planeación de la producción. *Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*, p. 145.
- Arango, M., Pérez, C., & Serna, G. (abril de 2010). Fuzzy mathematical programming applied to the material requirements planning (MRP). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*. vol. 33, no. 1, p. 77-86.
- Bulfin, Jr., R., & Sippper, D. (1998). *Planeación y Control de la Producción*. McGraw-Hill.
- Cárdenas, D., Reyes, J., Carrillo, M., & Sánchez, C. (septiembre de 2015). Modelo de Programación Lineal para Planeación de Requerimiento de Materiales. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, Vol. 28, N. 2. 24-33.
- Chang, J., Graves, S., Kirchain, R., & Olivetti, E. (2018). Integrated Planning for Design and Production in Two-Stage. *European Journal of Operational Research*, p. *Manuscrito*, pp. 135-136.
- Graves, S. (1999). *Manufacturing planning and control*. Massachusetts Institute of Technolog.
- Hansen, D., & Mowen, M. (2006). *Administración de costos - contabilidad y control, Quinta ed, Capítulo 3*. México D.F.: Cengage Learning.
- Hermida, Á. (29 de enero de 2017). *S&OP: El proceso para la ejecución de la estrategia de negocio*. Obtenido de <https://www.forbes.com.mx/brand-voice/sop-el-proceso-para-la-ejecucion-de-la-estrategia-de-negocio>
- Krajewski, L., & Ritzman, L. (2000). *Administración de Operaciones*. México: Pearson Educación.
- Martínez, I., Val, D., Tzintzun, R., & Conejo, J. (2016). Private competitiveness, production costs and break-even analysis of representative pork production units. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, vol. 6 n° 2, p. 145.
- Marulanda, N., & Gonzalez, H. (2016). Objetivos y decisiones estratégicas operacionales como ayuda al lean manufacturing . *Suma de negocios*, vol. 8, pp. 106-114.
- Mula, J., Poler, R., & Garcia, J. (enero de 2006). MRP with flexible constraints: A fuzzy mathematical. *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 157, no. 1, pp. 74-97.
- Nahmias, S. (2007). *Análisis de la producción y las operaciones. Quinta ed*. México D.F.: McGraw-Hill.
- Noroozi, S., & Wikner, J. (2017). Sales and operations planning in the process industry: A literature review. *International Journal of Production Economics Elsevier*, vol. 188, pp. 139-155.

- Pochet, Y. (2001). Mathematical programming models and formulations for deterministic production planning problems. *Computational combinatorial optimization*, pp. 57-111.
- Riikka, K., Holmstrom, J., Smaros, j., & Rajala, R. (29 de abril de 2017). Information sharing for sales and operations planning: Contextualized. *Journal of Operations Management Elsevier*, vol. 52, n° 15, p. 29.
- Shapiro, J. (1989). Mathematical programming models and methods . *MIT, Operations Research Center*, P. 112.
- Tang, J., Fung, D., & Wang, R. (octubre de 2000). Fuzzy formulation for multi-product aggregate production planning. *Production Planning & Control*, vol. 78 no. 3, pp. 323-334.
- Torabi, S., & Ebadian, R. (junio de 2010). Fuzzy hierarchical production planning (with a case study). *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 161, pp. 1511-1529.

## Apéndice

### Glosario de términos

Se presentarán en este capítulo el glosario necesario para entender de forma más clara el presente artículo:

- Fleje: lámina metálica de alguna de las aleaciones producidas en la Fábrica de Moneda, de aproximadamente 15 milímetros de espesor y 190 milímetros de ancho.
- Reciclado: material metálico sobrante de los procesos productivos y que es posible utilizarlo sin ningún proceso adicional a la etapa de fundición.
- Cospel: Disco metálico para ser acuñado.
- Troquel: es el molde en acero templado empleado en la acuñación de monedas. Tiene grabado en bajorrelieve la figura de la moneda que se ha de acuñar.
- Cospel: Disco metálico para ser acuñado.
- Alpaca Blanca: Aleación metálica no ferrosa compuesta de cobre, níquel y zinc.
- Alpaca Amarilla: Aleación metálica no ferrosa compuesta de cobre, níquel y zinc, a diferencia de la alpaca blanca, esta aleación tiene una mayor proporción de cobre y una menor proporción de níquel y de zinc.
- Cualni: Aleación metálica no ferrosa compuesta de cobre, aluminio y zinc.
- Facos: Zona conocida en la Fábrica de Moneda que agrupa todos los procesos desde fundición de metales, hasta la fabricación de cospel o núcleo para acuñar moneda metálica.

Anexos

Diagrama del modelo matemático

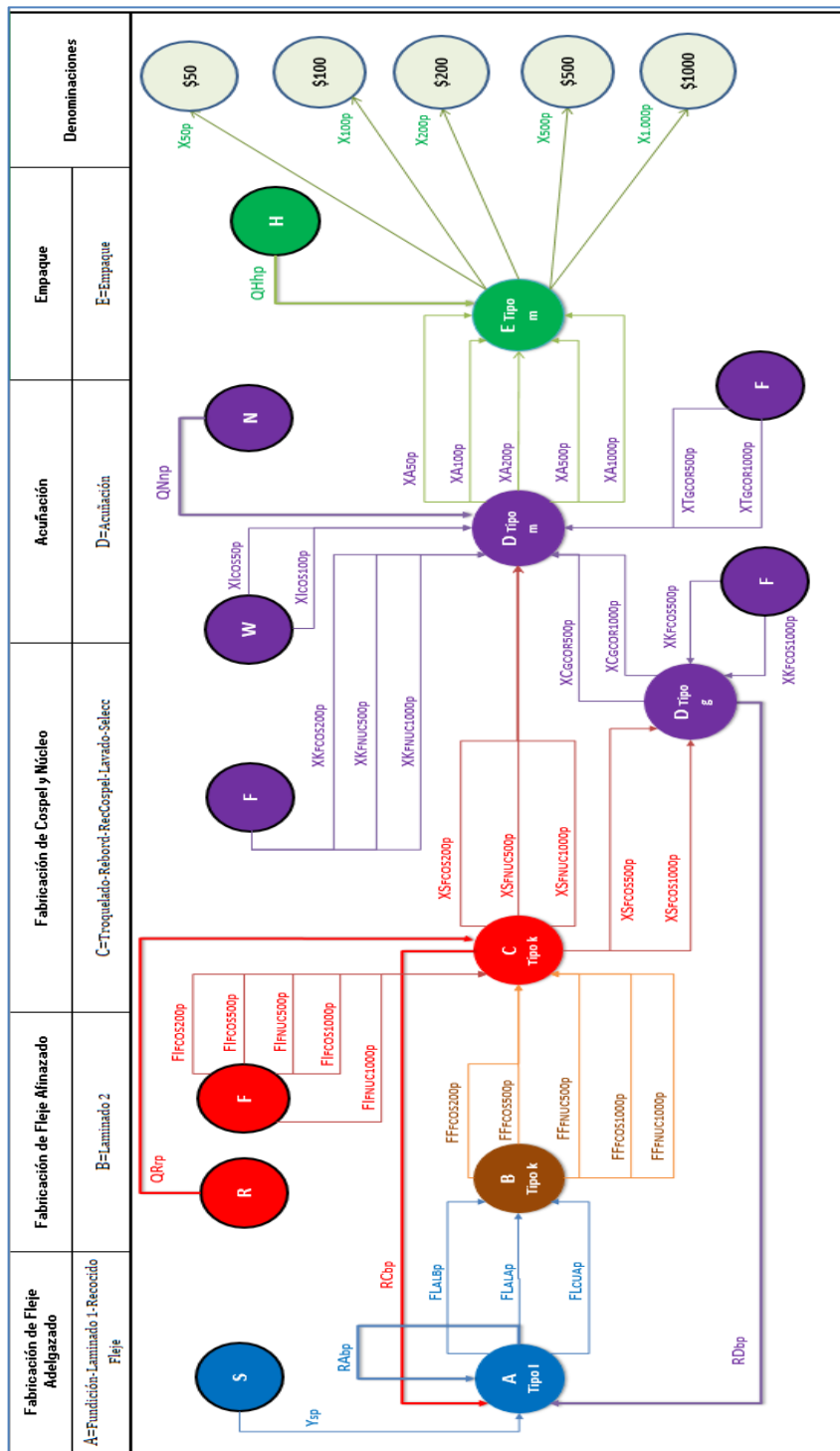


Figura No. 30 Diagrama del modelo matemático

### Código GAMS utilizado para resolver el modelo

\$Title Modelo\_FM Modelo de Producción Fábrica de Moneda

\$Ontext

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito  
Maestría en Ingeniería Industrial

Modelo de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM), cuyo objetivo es generar un programa de producción mensual detallado por denominación para los productos terminados y semielaborados necesarios para fabricar las monedas legales en Colombia que permita minimizar los costos de producción de cada uno de estos productos.

Presentado Por: Ing. Rubén Darío Fajardo Bernal

Dirigido por: Ing. Carlos Rodrigo Ruíz Cruz

\$Offtext

\*-----

-----

\* Definición de Conjuntos

\*-----

-----

Sets

s metal\_puro / MP001\*MP009 /

b reciclados / RC001\*RC012 /

l flejes\_ade / ALB, ALA, CUA /

k Semiel\_fab / FCOS200, FNUC500, FCOS500, FNUC1000, FCOS1000 /

r insu\_selec / INR001\*INR016 /

w cospel\_imp / COS50, COS100 /

g semie\_cort / GCOR500, GCOR1000 /

m monedas / M50, M100, M200, M500, M1000 /

n insu\_acuna / INN001\*INN012 /

p periodos / P01\*P12 /

h insu\_empaq / INH001\*INH005 /

;

\*-----

-----

\*-----

-----

\* Definición de Constantes, Parámetros y tablas

\*-----  
 -----

\*+++++  
 ++++++

#### Scalar

hf Cantidad de horas hombre disponibles en Facos cada mes / 2338 /  
 ha Cantidad de horas hombre disponibles en Acuñación cada mes / 1149 /  
 he Cantidad de horas hombre disponibles en Empaque cada mes / 555 /  
 chfa Costo agregado de fabricación por hora - Fleje Adelgazado / 1436031 /  
 cifa Costo agregado de fabricación por kilo - Fleje Adelgazado / 3157 /  
 chfb Costo agregado de fabricación por hora - Fleje Afinado / 1003713 /  
 cifb Costo agregado de fabricación por kilo - Fleje Afinado / 1472 /  
 chfc Costo agregado de fabricación por hora - Cospel y Núcleo Seleccionado / 887701 /  
 cific Costo agregado de fabricación por kilo - Cospel y Núcleo Seleccionado / 4189 /  
 chfd Costo agregado de fabricación por hora - Moneda Acuñada / 424434 /  
 cifd Costo agregado de fabricación por kilo - Moneda Acuñada / 845 /  
 chfh Costo agregado de fabricación por hora - Corona Cortada / 67802 /  
 cifh Costo agregado de fabricación por unidad - Corona Cortada / 12910 /  
 chfe Costo agregado de fabricación por hora - Moneda Empacada / 123134 /  
 cife Costo agregado de fabricación por unidad - Moneda Empacada / 12 /

;

\*+++++  
 ++++++

#### Parameters

cmf(1) Cantidad de kilos mínima a producir de fleje adelgazado para un ejercicio completo

/

ALB 50000  
 ALA 50000  
 CUA 50000

/

ea(1) Horas hombre requeridas para fabricar 1 tonelada de fleje adelgazado tipo 1

/

ALB 3.6  
 ALA 3.6  
 CUA 3.6

/

hfa(1) Horas requeridas para fabricar 1 tonelada de fleje adelgazado tipo 1

/

ALB 8.7  
 ALA 8.7  
 CUA 14.7

/



eb(k) Horas hombre requeridas para fabricar 1 tonelada de fleje afinado tipo k

/

FCOS200 0.6

FNUC500 0.6

FCOS500 0.7

FNUC1000 1.2

FCOS1000 1.8

/

hfb(k) Horas requeridas para fabricar 1 tonelada de fleje afinado tipo k

/

FCOS200 1.8

FNUC500 1.8

FCOS500 2.1

FNUC1000 3.6

FCOS1000 5.4

/

ec(k) Horas hombre requeridas para fabricar 1 tonelada de semielaborado seleccionado tipo k

/

FCOS200 14.9

FCOS500 13

FNUC500 12

FCOS1000 15.9

FNUC1000 12.7

/

hfc(k) Horas requeridas para fabricar 1 tonelada de fleje afinado tipo k

/

FCOS200 44.70

FNUC500 36.80

FCOS500 35.20

FNUC1000 46.70

FCOS1000 38.10

/

dt(g) Horas hombre requeridas para fabricar 1 tonelada de semielaborado seleccionado tipo g

/

GCOR500 5.3

GCOR1000 5.3

/

hft(g) Horas requeridas para fabricar 1 tonelada de semielaborado seleccionado tipo g

/

GCOR500 93

GCOR1000 85.5

/

da(m) Horas hombre requeridas para acuñar 1 millón de monedas tipo m

/

M50 34.6

M100 34.6

M200 34.6

M500 38.8

M1000 35.5

/

hfd(m) Horas requeridas para acuñar 1 millón de monedas tipo m

/

M50 81

M100 81

M200 84.6

M500 99.3

M1000 90.2

/

t(m) Necesidades globales de moneda tipo m para un ejercicio

/

M50 0

M100 12200000

M200 0

M500 40800000

M1000 153700000

/

ee(m) Horas hombre requeridas para empacar 1 millón de monedas tipo m

/

M50 10

M100 10

M200 10

M500 32

M1000 32

/

hfe(m) Horas requeridas para empacar 1 millón de monedas tipo m

/

M50 90

M100 90

M200 90

M500 192

M1000 192

/

;

\*+++++

+++++

Table vm(s,p) Valor por kilo en pesos de metal puro tipo s en un periodo p



RC011	19254	19254	19254	19254	19254	19254	19254	19254	19254	19254
	19254	19254								
RC012	16286	16286	16286	16286	16286	16286	16286	16286	16286	16286
	16286	16286								

Table qmp(s,l) Cantidad de kilos de metal puro tipo s requerido x 1 tonelada de fleje adelgazado tipo l 90-10

	ALB	ALA	CUA
MP001	78.3	91.5	113.1
MP002	16	5.5	3.3
MP003	21.3	18.3	0
MP004	0.2	0.2	0.1
MP005	0.1	0.1	0.1
MP006	0.1	0.1	0.1
MP007	0	0	10.2
MP008	1	1	1
MP009	1	1	1

\*Table qmp(s,l) Cantidad de kilos de metal puro tipo s requerido x 1 tonelada de fleje adelgazado tipo l 50-50

*	ALB	ALA	CUA
*MP001	359.5	412	508
*MP002	82	43.5	18.5
*MP003	135	122	0
*MP004	0.1	0.1	0.1
*MP005	0.1	0.1	0.1
*MP006	0.1	0.1	0.1
*MP007	0	0	50.5
*MP008	1	1	1
*MP009	1	1	1

Table qrc(b,l) Cantidad de kilos de reciclado tipo b requerido x 1 tonelada de fleje adelgazado tipo l 90-10

	ALB	ALA	CUA
RC001	790.2	0	0
RC002	150.5	0	0
RC003	51.7	0	0
RC004	45.7	0	0
RC005	0	775.3	0
RC006	0	158.8	0
RC007	0	55.5	0
RC008	0	48.5	0
RC009	0	0	790.6
RC010	0	0	149.2

RC011	0	0	66.6
RC012	0	0	530.70

\*Table qrc(b,l) Cantidad de kilos de reciclado tipo b requerido x 1 tonelada de fleje adelgazado tipo l 50-50

*	ALB	ALA	CUA
*RC001	418	0	0
*RC002	97	0	0
*RC003	30.5	0	0
*RC004	31.5	0	0
*RC005	0	418	0
*RC006	0	97	0
*RC007	0	30.5	0
*RC008	0	31	0
*RC009	0	0	417
*RC010	0	0	97
*RC011	0	0	40
*RC012	0	0	23

Table rga(b,l) Cantidad de kilos de reciclado tipo b generado x por la fabricación de 1 tonelada de fleje tipo l

	ALB	ALA	CUA
RC001	16.5	0	0
RC002	55.5	0	0
RC003	11.5	0	0
RC004	45.5	0	0
RC005	0	16.5	0
RC006	0	55.5	0
RC007	0	11.5	0
RC008	0	45.5	0
RC009	0	0	16.5
RC010	0	0	55.5
RC011	0	0	11.5
RC012	0	0	45.5

Table ufa(l,k) Parámetro que indica el uso de un fleje tipo l en un fleje tipo k

	FCOS200	FNUC500	FCOS500	FNUC1000	FCOS1000
ALB	1	1	0	0	1
ALA	0	0	0	1	0
CUA	0	0	1	0	0

\*Selección de cospel o nucleo

Table fcm(k,m) Factor de consumo en gramos de un cospel o nucleo con respecto a una moneda acuñada tipo m





FNUC500 28382 28382 28382 28382 28382 28382 28382 28382 28382  
 28382 28382 28382  
 FCOS1000 26259 26259 26259 26259 26259 26259 26259 26259 26259  
 26259 26259 26259  
 FNUC1000 27463 27463 27463 27463 27463 27463 27463 27463 27463  
 27463 27463 27463

\*Acuñación y corte

Table fct(g,m) Factor de consumo en gramos de una corona cortada tipo g para una moneda acuñada tipo m

	M50	M100	M200	M500	M1000
GCOR500	0	0	0	3	0
GCOR1000	0	0	0	0	5.78

Table imp(g,m) Factor que indica si la corona cortada tipo g para una moneda acuñada tipo m se importa o no

	M50	M100	M200	M500	M1000
GCOR500	0	0	0	0	0
GCOR1000	0	0	0	0	0

Table ftw(w,m) Factor de consumo en gramos de cospel importado tipo w para una moneda acuñada tipo m

	M50	M100	M200	M500	M1000
COS50	2	0	0	0	0
COS100	0	3.34	0	0	0

Table qnm(n,m) Cantidad de insumos tipo n para acuñar un millón de monedas tipo m

	M50	M100	M200	M500	M1000
INN001	4	0	0	0	0
INN002	4	0	0	0	0
INN003	0	4	0	0	0
INN004	0	4	0	0	0
INN005	0	0	4	0	0
INN006	0	0	4	0	0
INN007	0	0	0	4	0
INN008	0	0	0	4	0
INN009	0	0	0	0	4
INN010	0	0	0	0	4
INN011	0	0	0	0	0
INN012	0	0	0	0	0

Table qng(n,g) Cantidad de insumos consumidos de tipo g para una tonelada de semielaborado g en un periodo p

	GCOR500	GCOR1000
--	---------	----------







INH002	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198	2198
2198	2198									
INH003	2131	2131	2131	2131	2131	2131	2131	2131	2131	2131
2131	2131									
INH004	2244	2244	2244	2244	2244	2244	2244	2244	2244	2244
2244	2244									
INH005	2218	2218	2218	2218	2218	2218	2218	2218	2218	2218
2218	2218									

Table qhm(h,m) Cantidad de insumos tipo h requeridos para empacar un millon de monedas tipo m

	M50	M100	M200	M500	M1000
INH001	500	0	0	0	0
INH002	0	500	0	0	0
INH003	0	0	500	0	0
INH004	0	0	0	1000	0
INH005	0	0	0	0	1000

;

\*-----

-----

\*-----

-----

\* Definición de las Variables del Modelo

\*-----

-----

Variables

fl(l,p) Cantidad en kilos de fleje adelgazado tipo l fabricado en un periodo p

ra(b,p) Cantidad de kilos de reciclado generado en fundición tipo b en un periodo p

y(s,p) Cantidad en kilos de metal puro tipo s utilizado en fundición en un periodo p

rf(b,p) Cantidad en kilos de reciclado tipo b utilizado en en un periodo p

flf(l,p) Inventario al final del ejercicio de fleje adelgazado tipo l

ff(k,p) Cantidad en kilos de fleje afinado tipo k fabricado en planta en un periodo p

fff(k,p) Inventario al final del ejercicio de fleje afinado tipo k

rc(b,p) Cantidad en kilos de reciclado generado tipo b en selección en un periodo p

qr(r,p) Cantidad en unidad correspondiente de insumos tipo r consumidos en selección en un periodo p

fi(k,p) Cantidad en kilos de fleje afinado importado tipo k para consumir en selección en un periodo p

xsf(k,p) Inventario al final del ejercicio de semielaborado seleccionado tipo k

xa(m,p) Cantidad en unidades de moneda acuñada tipo m en un periodo p

qn(n,p) Cantidad en unidad correspondiente de insumos tipo n consumidos en acuñación en un periodo p

rd(b,p) Cantidad en kilos de reciclado generado tipo b en acuñación en un periodo p

$xi(w,p)$  Cantidad en kilos de cospel importado tipo  $w$  para la moneda de \$50 y \$100 en un periodo  $p$   
 $xc(g,p)$  Cantidad en kilos de corona cortada fabricada en planta tipo  $g$  en un periodo  $p$   
 $xt(g,p)$  Cantidad en kilos de corona cortada importada para acuñación tipo  $g$  en un periodo  $p$   
 $xs(k,p)$  Cantidad en kilos de cospel o nucleo fabricado en selección tipo  $k$  en un periodo  $p$   
 $xk(k,p)$  Cantidad en kilos de cospel o nucleo importado para acuñación tipo  $k$  en un periodo  $p$   
 $xaf(m,p)$  Inventario al final del ejercicio de moneda acuñada tipo  $m$   
 $xcf(g,p)$  Inventario al final del ejercicio de corona cortada tipo  $w$  en un periodo  $p$   
 $x(m,p)$  Cantidad de moneda tipo  $m$  entregada al Depto de Tesorería  
 $qh(h,p)$  Cantidad Consumida de insumos tipo  $h$  consumidos en empaque en un periodo  $p$   
 $xf(m,p)$  Inventario al final del ejercicio de moneda empacada tipo  $m$   
 $vr\_xe(m)$  Costo agregado moneda empacada  
 $vr\_qh(h)$  Costo de los insumos para empaque de moneda  
 $vr\_xa(m)$  Costo agregado moneda acuñada  
 $vr\_xi(w)$  Costo del cospel de 50 y 100 importado  
 $vr\_xc(g)$  Costo agregado de la corona nacional acuñación  
 $vr\_xt(g)$  Costo de la corona importada para acuñación  
 $vr\_xk(k)$  Costo del cospel y núcleo importado acuñación  
 $vr\_qn(n)$  Costo de los insumos utilizados en acuñación  
 $vr\_rd(b)$  Costo de los reciclados generados en acuñación  
 $vr\_xs(k)$  Costo agregado selección cospel y nucleo  
 $vr\_fi(k)$  Costo del fleje afinado importado para selección  
 $vr\_qr(r)$  Costo de los insumos utilizados en selección  
 $vr\_rc(b)$  Costo de los reciclados generados selección  
 $vr\_ff(k)$  Costo agregado fleje afinado  
 $vr\_fl(l)$  Costo agregado fleje adelgazado  
 $vr\_ya(s)$  Costo de los metales puros utilizados en fundición  
 $vr\_rf(b)$  Costo del reciclado utilizados en fundición  
 $vr\_ra(b)$  Costo del reciclado generado en fundición  
 $hh\_ad(p)$  Cantidad de horas hombre en el proceso de fleje adelgazado  
 $hh\_af(p)$  Cantidad de horas hombre en el proceso de fleje afinado  
 $hh\_se(p)$  Cantidad de horas hombre en el proceso de selección  
 $hh\_ac(p)$  Cantidad de horas hombre en el proceso de acuñación  
 $hh\_co(p)$  Cantidad de horas hombre en el proceso de corte  
 $hh\_em(p)$  Cantidad de horas hombre en el proceso de empaque  
 $to\_hh(p)$  Total horas utilizadas en el área de Facos  
 $minz$  Minimizar los costos de producción

;

\*No negatividad

Positive Variables  $fl, rf, ra, y, xs, rc, qr, fi, xsf, xa, xc, qn, rd, xi, xt, xk, xaf, xcf, x, qh, xf$

;

\*-----

-----  
Equations

CanFleAde\_Afi(l,p) Cantidad en kilos de fleje adelg tipo l balanceado con con el fleje afinado tipo k en un periodo p

CantCons\_MetP(s,p) Cantidad en kilos de metal puro tipo s de acuerdo al fleje adelgazado tipo l prod en periodo p

CantCons\_Reci(b,p) Cantidad en kilos de reciclado tipo b de acuerdo al fleje adelgazado fabricado tipo l en periodo p

Reci\_Vs\_FleAd(b,p) Cantidad de reciclado en kilos gene tipo b generado de acuerdo al fleje adel tipo l prod en periodo p

Capacid\_Facos(p) Capacidad de horas hombre en el área de Facos para un periodo p

CantMin\_Fleje(l) Cantidad de fleje adelgazado mínima a producir de fleje adelgazado

CantCons\_InsR(r,p) Cantidad en unidad correspondiente de insumos tipo r en un periodo p

Reci\_Vs\_Selec(b,p) Cantidad de reciclado generado de acuerdo al semielaborado selecc fabricado en un periodo p

CanFleAfi\_Sel(k,p) Cantidad en kilos de fleje afinado tipo k fabricado de acuerdo a el semiel sel tipo k x periodo p

CanFleAfi\_Imp(k,p) Cantidad en kilos de fleje afinado tipo k importado de acuerdo a el semiel sel tipo k x periodo p

CantCons\_FlAf(k,p) Cantidad en toneladas de fleje afinado balanceado con semielaborado selec en un periodo p

Reci\_Vs\_CorCo(b,p) Reciclado generado tipo b de acuerdo a la cantidad de corona cortada tipo g en un periodo p

CantCons\_InsN(n,p) Cantidad en unidad correspondiente de insumos tipo n para un periodo p

CanCosImp\_MAc(w,p) Cantidad de kilos consumido de cospel importado w de acuerdo con la moneda acuñada (\$50 y \$100)

CanCorImp\_MAc(g,p) Cantidad de kilos consumido de corona importada g de acuerdo con la moneda acuñada (\$500 y \$1.000)

CanCorNac\_MAc(g,p) Cantidad de kilos consumido de cornaa fabricada k de acuerdo con la moneda acuñada (\$500 y \$1.000)

CanCor\_vs\_MAc(g,p) Balance en kilos de la corona importada + nacional vs la moneda acuñada (\$500 y \$1.000)

CanSemNac\_MAc(k,p) Cantidad de kilos consumidos de semielaborado k balanceado con la moneda tipo m o corona tipo g

CanSemImp\_MAc(k,p) Cant de kilos cons de cospel o nucleo importado k de acuerdo a la mon acuñada (\$200 \$500 y \$1000)

CanSem\_vs\_MAc(k,p) Balance en kilos de cospel o nucleo importado + nacional vs la moneda acuñada (\$200 \$500 y \$1000)

Capaci\_Acunac(p) Capacidad de horas hombre en empaque para un periodo p

Cumpli_NecTes(m)	Cumplimiento necesidades de Tesoreria
CantConsInsuH(h,p)	Cantidad en unidad correspondiente de insumos tipo h para un periodo p
Capaci_Empaqu(p)	Capacidad de horas hombre en empaque para un periodo p
CanMonAc_MEmp(m,p)	Balance de moneda empacada versus con la moneda acuñada
CosAgr_MonEmp(m)	Costo agregado moneda empacada
CosIns_MonEmp(h)	Costo insumos moneda empacada
CosAgrMon_Acu(m)	Costo agregado moneda acuñada
CosCosImp_Acu(w)	Costo cospel de 50 y 100 importado
CosCorNac_Acu(g)	Costo corona nacional acuñación
CosCorImp_Acu(g)	Costo corona importada acuñación
CosSemImp_Acu(k)	Costo cospel y núcleo importado acuñación
CosIns_MonAcu(n)	Costo insumos moneda acuñada
CosRec_CorAcu(b)	Costo del reciclado de la corona cortada
CosAgrSem_Sel(k)	Costo agregado selección y núcleo
CosSemImp_Sel(k)	Costo semielaborado importado selección
CosInsumo_Sel(r)	Costos insumos selección
CosRecicl_Sel(b)	Costo reciclados generados selección
CosAgrSem_Afi(k)	Costo agregado fleje afinado
CosAgrSem_Ade(l)	Costo agregado fleje adelgazado
CosMetPur_Ade(s)	Costo metales puros
CosRecFun_Ade(b)	Costo reciclado consumido
CosRecicl_Ade(b)	Costo reciclado generado
CantHoras_Ade(p)	Cantidad de horas hombre en el proceso de fleje adelgazado
CantHoras_Afi(p)	Cantidad de horas hombre en el proceso de fleje afinado
CantHoras_Sel(p)	Cantidad de horas hombre en el proceso de selección
CantHoras_Acu(p)	Cantidad de horas hombre en el proceso de acuñación
CantHoras_Cor(p)	Cantidad de horas hombre en el proceso de corte
CantHoras_Emp(p)	Cantidad de horas hombre en el proceso de empaque
UtiCap0_Facos(p)	Cantidad de horas hombre totales en Facos
UtiCap1_Facos(p)	Valida la utilización de mínimo el 90% de la capacidad disponible de Facos $\geq 90$
UtiCap2_Facos(p)	Valida la utilización de mínimo el 90% de la capacidad disponible de Facos $\leq 100$

\*-----

-----

\*Función Objetivo

\*-----

-----

Fun\_Obj                    Función Objetivo Minimizar Costos

;

\*-----  
-----  
CanFleAde\_Afi(l,p)..  $fl(l,p) = g = \text{sum}((k), ff(k,p)*ufa(l,k));$   
CantCons\_MetP(s,p)..  $y(s,p) = e = \text{sum}((l), (fl(l,p)/1000)*qmp(s,l));$   
CantCons\_Reci(b,p)..  $rf(b,p) = e = \text{sum}((l), (fl(l,p)/1000)*qrc(b,l));$   
Reci\_Vs\_FleAd(b,p)..  $ra(b,p) = e = \text{sum}((l), (fl(l,p)/1000)*rga(b,l));$   
Capacid\_Facos(p)..  $\text{sum}((l), (fl(l,p)/1000)*ea(l)) + \text{sum}((k),$   
 $(ff(k,p)/1000)*eb(k)) + \text{sum}((k), (xs(k,p)/1000)*ec(k)) = l = HF;$   
CantMin\_Fleje(l)..  $\text{sum}((p), fl(l,p)) = g = cmf(l);$   
CantCons\_InsR(r,p)..  $qr(r,p) = e = \text{sum}((k), (xs(k,p)/1000)*qir(r,k));$   
Reci\_Vs\_Select(b,p)..  $rc(b,p) = e = \text{sum}((k), (xs(k,p)/1000)*rgc(b,k));$   
CanFleAfi\_Sel(k,p)..  $ff(k,p) = l = xs(k,p);$   
CanFleAfi\_Imp(k,p)..  $fi(k,p) = l = xs(k,p);$   
CantCons\_FIAf(k,p)..  $fi(k,p) + ff(k,p) = e = xs(k,p);$   
Reci\_Vs\_CorCo(b,p)..  $rd(b,p) = e = \text{sum}((g), (xc(g,p)/1000)*rgd(b,g));$   
CantCons\_InsN(n,p)..  $qn(n,p) = e = \text{sum}((m), (xa(m,p)/1000000)*qnm(n,m))$   
 $+ \text{sum}((g), (xc(g,p)/1000)*qng(n,g));$   
CanCosImp\_MAc(w,p)..  $xi(w,p) = e = \text{sum}((m), xa(m,p)*ftw(w,m))/1000;$   
CanCorImp\_MAc(g,p)..  $xt(g,p) = l = \text{sum}((m),$   
 $xa(m,p)*fct(g,m)*imp(g,m))/1000;$   
CanCorNac\_MAc(g,p)..  $xc(g,p) = l = \text{sum}((m), xa(m,p)*fct(g,m))/1000;$   
CanCor\_vs\_MAc(g,p)..  $xc(g,p) + xt(g,p) = e =$   
 $\text{sum}((m), xa(m,p)*fct(g,m))/1000;$   
CanSemNac\_MAc(k,p)..  $xs(k,p) = l = (\text{sum}((m), xa(m,p)*ftcm(k,m))/1000) +$   
 $(\text{sum}((g), (xc(g,p)/1000)*ftcc(k,g)));$   
CanSemImp\_MAc(k,p)..  $xk(k,p) = l = (\text{sum}((m), xa(m,p)*ftcm(k,m))/1000) +$   
 $(\text{sum}((g), (xc(g,p)/1000)*ftcc(k,g)));$   
CanSem\_vs\_MAc(k,p)..  $xs(k,p) + xk(k,p) = e = (\text{sum}((m),$   
 $xa(m,p)*ftcm(k,m))/1000) + (\text{sum}((g), (xc(g,p)/1000)*ftcc(k,g)));$   
Capaci\_Acunac(p)..  $\text{sum}((g), (xc(g,p)/1000)*dt(g)) + \text{sum}((m),$   
 $(xa(m,p)/1000000)*da(m)) = l = ha;$   
Cumpli\_NecTes(m)..  $\text{sum}((p), x(m,p)) = e = t(m);$   
CantConsInsuH(h,p)..  $qh(h,p) = e = \text{sum}((m), (x(m,p)/1000000)*qhm(h,m));$   
Capaci\_Empaqu(p)..  $\text{sum}((m), (x(m,p)/1000000)*ee(m)) = l = he;$   
CanMonAc\_MEmp(m,p)..  $x(m,p) = e = xa(m,p);$   
\*Validación de Costos  
CosAgr\_MonEmp(m)..  $vr\_xe(m) = e = \text{sum}((p),$   
 $((x(m,p)/1000000)*hfe(m)*chfe)+(x(m,p)*cife));$   
CosIns\_MonEmp(h)..  $vr\_qh(h) = e = \text{sum}((p), qh(h,p)*vih(h,p));$   
CosAgrMon\_Acu(m)..  $vr\_xa(m) = e = \text{sum}((p),$   
 $((xa(m,p)/1000000)*hfd(m)*chfd)+(xa(m,p)*cifd));$   
CosCosImp\_Acu(w)..  $vr\_xi(w) = e = \text{sum}((p), xi(w,p)*vix(w,p));$   
CosCorNac\_Acu(g)..  $vr\_xc(g) = e = \text{sum}((p),$   
 $((xc(g,p)/1000)*hft(g)*chfh)+(xc(g,p)*cifh));$

CosCorImp\_Acu(g)..  $vr\_xt(g) = e = \text{sum}((p), xt(g,p)*vgi(g,p));$   
 CosSemImp\_Acu(k)..  $vr\_xk(k) = e = \text{sum}((p), xk(k,p)*vki(k,p));$   
 CosIns\_MonAcu(n)..  $vr\_qn(n) = e = \text{sum}((p), qn(n,p)*vin(n,p));$   
 CosRec\_CorAcu(b)..  $vr\_rd(b) = e = \text{sum}((p), rd(b,p)*cr(b,p));$   
 CosAgrSem\_Sel(k)..  $vr\_xs(k) = e = \text{sum}((p),$   
 $((xs(k,p)/1000)*hfc(k)*chfc)+(xs(k,p)*cifc));$   
 CosSemImp\_Sel(k)..  $vr\_fi(k) = e = \text{sum}((p), fi(k,p)*vfi(k,p));$   
 CosInsumo\_Sel(r)..  $vr\_qr(r) = e = \text{sum}((p), qr(r,p)*vir(r,p));$   
 CosRecicl\_Sel(b)..  $vr\_rc(b) = e = \text{sum}((p), rc(b,p)*cr(b,p));$   
 CosAgrSem\_Afi(k)..  $vr\_ff(k) = e = \text{sum}((p),$   
 $((ff(k,p)/1000)*hfb(k)*chfb)+(ff(k,p)*cifb));$   
 CosAgrSem\_Ade(l)..  $vr\_fl(l) = e = \text{sum}((p),$   
 $((fl(l,p)/1000)*hfa(l)*chfa)+(fl(l,p)*cifa));$   
 CosMetPur\_Ade(s)..  $vr\_ya(s) = e = \text{sum}((p), y(s,p)*vm(s,p));$   
 CosRecFun\_Ade(b)..  $vr\_rf(b) = e = \text{sum}((p), rf(b,p)*cr(b,p));$   
 CosRecicl\_Ade(b)..  $vr\_ra(b) = e = \text{sum}((p), ra(b,p)*cr(b,p));$   
 \*Validación de capacidad en horas hombre  
 CantHoras\_Ade(p)..  $hh\_ad(p) = e = \text{sum}((l), (fl(l,p)/1000)*ea(l));$   
 CantHoras\_Afi(p)..  $hh\_af(p) = e = \text{sum}((k), (ff(k,p)/1000)*eb(k));$   
 CantHoras\_Sel(p)..  $hh\_se(p) = e = \text{sum}((k), (xs(k,p)/1000)*ec(k));$   
 UtiCap0\_Facos(p)..  $to\_hh(p) = e = hh\_ad(p) + hh\_af(p) + hh\_se(p);$   
 UtiCap1\_Facos(p)..  $to\_hh(p) = g = ha * 0.90;$   
 UtiCap2\_Facos(p)..  $to\_hh(p) = l = ha;$   
  
 CantHoras\_Acu(p)..  $hh\_ac(p) = e = \text{sum}((m), (xa(m,p)/1000000)*da(m));$   
 CantHoras\_Cor(p)..  $hh\_co(p) = e = \text{sum}((g), (xc(g,p)/1000)*dt(g));$   
 CantHoras\_Emp(p)..  $hh\_em(p) = e = \text{sum}((m), (x(m,p)/1000000)*ee(m));$

\*-----

-----  
 \*Función Objetivo  
 \*-----

Fun\_Obj..  $minz = e = \text{sum}((l,p), ((fl(l,p)/1000)*hfa(l)*chfa)+(fl(l,p)*cifa)) + \text{sum}((s,p),$   
 $y(s,p)*vm(s,p)) + \text{sum}((b,p), rf(b,p)*cr(b,p)) - \text{sum}((b,p), ra(b,p)*cr(b,p)) +$   
 $\text{sum}((k,p), ((ff(k,p)/1000)*hfb(k)*chfb)+(ff(k,p)*cifb)) +$   
 $\text{sum}((k,p), ((xs(k,p)/1000)*hfc(k)*chfc)+(xs(k,p)*cifc)) + \text{sum}((k,p),$   
 $fi(k,p)*vfi(k,p)) + \text{sum}((r,p), qr(r,p)*vir(r,p)) - \text{sum}((b,p), rc(b,p)*cr(b,p)) +$   
 $\text{sum}((m,p), ((xa(m,p)/1000000)*hfd(m)*chfd)+(xa(m,p)*cifd)) + \text{sum}((w,p),$   
 $xi(w,p)*vix(w,p)) + \text{sum}((g,p), ((xc(g,p)/1000)*hft(g)*chfh)+(xc(g,p)*cifh)) + \text{sum}((g,p),$   
 $xt(g,p)*vgi(g,p)) + \text{sum}((k,p), xk(k,p)*vki(k,p)) + \text{sum}((n,p), qn(n,p)*vin(n,p)) -$   
 $\text{sum}((b,p), rd(b,p)*cr(b,p)) +$   
 $\text{sum}((m,p), ((x(m,p)/1000000)*hfe(m)*chfe)+(x(m,p)*cife)) + \text{sum}((h,p),$   
 $qh(h,p)*vih(h,p));$



```
Model Modelo_FM Minimizar costos de producción / all /
Solve Modelo_FM using MIP minimizing minz;
display minz.l
display fl.l, vr_fl.l, y.l, vr_ya.l, ra.l, vr_ra.l, rf.l, vr_rf.l
display ff.l, vr_ff.l, fi.l, vr_fi.l
display xs.l, vr_xs.l, xk.l, hh_ad.l, hh_af.l, hh_se.l, vr_xk.l, qr.l, vr_qr.l, xt.l, vr_xt.l, rc.l,
vr_rc.l
display xa.l, vr_xa.l, hh_ac.l, xc.l, vr_xc.l, hh_co.l, xi.l, vr_xi.l, qn.l, vr_qn.l, rd.l, vr_rd.l
display x.l, vr_xe.l, hh_em.l, qh.l, vr_qh.l
*-----
-----
```