

**"DISEÑO DE UN SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y
PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA
PRODUCTORA DE CONEXIONES DE PVC"**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar por el título de

INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR: Mazzarri Rodríguez, Juan Carlos

Montalvo Cedeño, Dainerys

TUTOR: Ing. Pérez Mínguez, César

Octubre 2016

**"DISEÑO DE UN SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y
PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA
PRODUCTORA DE CONEXIONES DE PVC"**

**Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su
contenido con el resultado:**

JURADO EXAMINADOR

Firma: _____ **Firma:** _____ **Firma:** _____

Nombre: _____ **Nombre:** _____ **Nombre:** _____

REALIZADO POR: Mazzarri Rodríguez, Juan Carlos

Montalvo Cedeño, Dainerys

TUTOR: Ing. Pérez Mínguez, César

Octubre 2016

**"DISEÑO DE UN SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y
PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA
PRODUCTORA DE CONEXIONES DE PVC"**

Este jurado; una vez realizado el examen del presente trabajo ha evaluado su contenido con el resultado:

VEINTE (20) PUNTOS

JURADO EXAMINADOR

Firma: 

Nombre:
JOSE LUIS QUINTERO

Firma: 

Nombre:
CESAR PEREZ

Firma: 

Nombre:
JOHANN DIAZ
C.I. 10.816.710

REALIZADO POR: Mazzarri Rodríguez, Juan Carlos

Montalvo Cedeño, Dainerys

TUTOR: Ing. Pérez Mínguez, César

Octubre 2016

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA PLANTA PRODUCTORA DE CONEXIONES DE PVC.

REALIZADO POR: Mazzarri Rodríguez, Juan Carlos
Montalvo Cedeño, Dainerys

TUTOR: Ing. Pérez Mínguez, César

FECHA: Octubre 2016

SINOPSIS

En el presente trabajo especial de grado se diseñó un sistema de planificación y programación de la producción en una planta productora de conexiones de PVC, con el fin de hacer un uso más racional de las máquinas disponibles, mejorar el manejo de los inventarios de producto terminado y brindarles una mejor respuesta a los clientes.

Actualmente el proceso de planificación y programación de la producción es llevado a cabo de forma manual y bajo decisiones subjetivas del responsable, es así como surgió la necesidad de llevar a cabo este proyecto, donde se recopiló información referente al proceso de inyección de accesorios de PVC y a las técnicas relacionadas con la planificación y programación de la producción para el diseño del nuevo sistema.

A través del uso de un diagrama SIPOC y un flujograma de actividades se caracterizó el proceso de inyección; mediante entrevistas no estructuradas se identificaron los datos necesarios para el sistema de planificación y programación de la producción; se seleccionaron como técnicas para el desarrollo del sistema el plan maestro de producción (PMP) y la programación lineal entera; el sistema fue construido mediante el uso de Microsoft Excel, donde se validó el funcionamiento del mismo con datos reales de la empresa a través del uso del complemento Opensolver y por último se elaboró un manual de funcionamiento que permite a los usuarios utilizar y actualizar el sistema.

El resultado final es el diseño de un sistema que permite determinar la cantidad de productos que deben fabricarse para un período de planificación mensual y genera un arreglo entre moldes de piezas de PVC y máquinas inyectoras, de tal manera que se satisfagan los requerimientos de producción cumpliendo con los parámetros establecidos por la empresa en el menor tiempo posible.

Palabras claves: Sistema, proceso de inyección, planificación, programación, programación lineal entera, plan maestro de producción.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE FIGURAS | VII |
| ÍNDICE DE TABLAS | VIII |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I. LA EMPRESA..... | 3 |
| 1.1 Descripción de la empresa..... | 3 |
| 1.1.1 Visión..... | 3 |
| 1.1.2 Misión..... | 3 |
| 1.1.3 Estructura organizativa | 4 |
| 1.2 Planteamiento del problema | 5 |
| 1.3 Objetivos | 6 |
| 1.3.1 General..... | 6 |
| 1.3.2 Específicos..... | 6 |
| 1.4 Alcance | 7 |
| 1.5 Limitaciones | 8 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 9 |
| 2.1 Antecedentes | 9 |
| 2.2 Bases teóricas | 10 |
| 2.3 Definición de términos básicos de la empresa | 19 |
| 2.4 Herramientas utilizadas | 20 |
| CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO | 22 |
| 3.1 Tipo de Investigación | 22 |
| 3.2 Nivel de Investigación..... | 23 |

| | | |
|---|--|----|
| 3.3 | Diseño de Investigación | 23 |
| 3.4 | Población y muestra | 24 |
| 3.5 | Técnicas e instrumentos de recolección de datos | 25 |
| CAPÍTULO IV. SITUACIÓN ACTUAL..... | | 26 |
| 4.1 | Caracterización del proceso productivo en el área de inyección..... | 26 |
| 4.1.1 | Vínculos del proceso de inyección | 26 |
| 4.1.2 | Análisis del proceso de inyección | 34 |
| 4.2 | Clasificación y características de los moldes de piezas de PVC | 37 |
| 4.2.1 | Moldes para accesorios de tuberías sanitarias (compuesto amarillo)..... | 37 |
| 4.2.2 | Moldes para accesorios de electricidad/infraestructura (compuesto blanco) | 38 |
| 4.2.3 | Moldes para accesorios de tuberías de agua fría (compuesto gris) | 38 |
| 4.3 | Clasificación y características de las máquinas inyectoras | 39 |
| 4.4 | Distribución de moldes en máquinas inyectoras | 40 |
| 4.5 | Planificación y programación de la producción en el área de inyección | 45 |
| CAPÍTULO V. SISTEMA PROPUESTO PARA LA PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN | | 47 |
| 5.1 | Información necesaria para la planificación y programación de la producción..... | 47 |
| 5.2 | Selección de técnicas para la planificación y programación de la producción | 48 |
| 5.3 | Construcción del sistema de planificación y programación de la producción | 49 |
| 5.3.1 | Fase 1. Planificación de la producción | 49 |
| 5.3.2 | Fase 2. Programación de la producción..... | 50 |
| 5.4 | Validación del sistema propuesto | 53 |
| 5.4.1 | Planificación y programación de la producción para el mes de septiembre de 2015..... | 53 |

| | |
|---|-----|
| 5.4.2 Planificación y programación de la producción para un incremento en los requerimientos de producción del mes de septiembre de 2015..... | 55 |
| 5.4.3 Indicadores de desempeño | 58 |
| 5.4.3.1 Producción de piezas de PVC | 58 |
| 5.4.3.2 Utilización de las máquinas..... | 59 |
| CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 61 |
| 6.1 Conclusiones | 61 |
| 6.2 Recomendaciones..... | 63 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 65 |
| ANEXOS | IX |
| SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN.... | X |
| MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PROPUESTO | XVI |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Organigrama gerencial de la empresa | 4 |
| Figura 2. Ejemplo de un diagrama SIPOC. | 21 |
| Figura 3. Ejemplo de un flujograma de procesos | 21 |
| Figura 4. Diagrama SIPOC del proceso de inyección. | 27 |
| Figura 5. Pellets para accesorios de tuberías sanitarias. | 28 |
| Figura 6. Pellets para accesorios de tuberías de agua fría. | 28 |
| Figura 7. Pellets para accesorios de tuberías de electricidad e infraestructura. | 29 |
| Figura 8. Material de empaque. | 29 |
| Figura 9. Área de enfriamiento del molde de piezas de PVC..... | 30 |
| Figura 10. Área de enfriamiento del motor de la máquina inyectora. | 30 |
| Figura 11. Molde de piezas de PVC. | 31 |
| Figura 12. Máquina inyectora..... | 31 |
| Figura 13. Adición del compuesto requerido. | 32 |
| Figura 14. Proceso de calentamiento del material. | 32 |
| Figura 15. Secuencia de movimientos de la máquina inyectora durante el proceso de inyección del material dentro del molde. | 33 |
| Figura 16. Piezas de PVC terminadas. | 33 |
| Figura 17. Producto terminado. | 34 |
| Figura 18. Flujograma del proceso de inyección..... | 36 |
| Figura 19. Flujograma del proceso de planificación y programación de la producción en el área de inyección. | 46 |
| Figura 20. Utilización de las máquinas para el mes de septiembre de 2015. | 55 |
| Figura 21. Utilización de las máquinas para el mes de septiembre de 2015 con un incremento del 12,1% en los requerimientos de producción..... | 57 |
| Figura 22. Producción de piezas de PVC, sistema actual Vs sistema propuesto. | 58 |
| Figura 23. Utilización de las máquinas inyectoras, sistema actual Vs sistema propuesto. ... | 59 |
| Figura 24. Utilización total de las máquinas inyectoras, sistema actual Vs sistema propuesto. | 60 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Antecedente #1 | 9 |
| Tabla 2. Antecedente #2 | 10 |
| Tabla 3. Recolección de datos | 25 |
| Tabla 4. Moldes para accesorios sanitarios. | 37 |
| Tabla 5. Moldes para accesorios de electricidad e infraestructura. | 38 |
| Tabla 6. Moldes para accesorios de agua fría. | 38 |
| Tabla 7. Grupo #1 de máquinas inyectoras..... | 39 |
| Tabla 8. Grupo #2 de máquinas inyectoras..... | 39 |
| Tabla 9. Grupo #3 de máquinas inyectoras..... | 40 |
| Tabla 10. Grupo #4 de máquinas inyectoras..... | 40 |
| Tabla 11. Matriz de moldes para accesorios sanitarios Vs máquinas inyectoras. | 41 |
| Tabla 12. Matriz de moldes para accesorios de electricidad e infraestructura Vs máquinas inyectoras. | 42 |
| Tabla 13. Matriz de moldes para accesorios de agua fría Vs máquinas inyectoras..... | 43 |
| Tabla 14. Datos necesarios para el sistema de planificación y programación de la producción. | 47 |
| Tabla 15. Resultados de validación para septiembre de 2015. | 53 |
| Tabla 16. Resultados de validación para septiembre de 2015 con un incremento del 12,1% en los requerimientos de producción. | 56 |

INTRODUCCIÓN

El proceso de planificación y programación de la producción es una parte fundamental dentro de cualquier proceso productivo, ya que se relaciona directamente con la respuesta que se les brinda a los clientes, es por ello que debe llevarse a cabo de manera eficiente dentro de cualquier organización para asegurar excelentes resultados.

Son muchas las técnicas que pueden emplearse para el desarrollo de sistemas que se encarguen de planificar y programar la producción de manera eficiente para un período determinado.

El presente trabajo propone un sistema de planificación y programación de la producción con base en un plan maestro de producción (PMP) y en un modelo de programación lineal entera, el cual permite determinar la cantidad de productos que deben fabricarse asignando recursos a cada centro de trabajo para un período mensual, de tal manera que se satisfagan los requerimientos de producción cumpliendo con los parámetros establecidos por la empresa.

Este trabajo especial de grado se encuentra estructurado en seis capítulos que se describen a continuación:

Capítulo I. La empresa

Proporciona una visión general de la empresa donde se llevó a cabo el proyecto: PAVCO de Venezuela S.A. Consta de una breve reseña histórica de la compañía, su perfil, misión, visión y estructura organizativa. Por otra parte, se presenta la situación que genera la necesidad de realización del trabajo, sus objetivos, alcance y limitaciones.

Capítulo II. Marco teórico

Consiste en una descripción breve de los antecedentes que guardan relación con este trabajo, las bases teóricas y términos básicos de la empresa que contextualizan al lector y la definición y descripción de herramientas utilizadas para el desarrollo de los objetivos planteados.

Capítulo III. Marco metodológico

Se identifica el tipo, nivel y diseño de la investigación, a su vez se especifica la población y muestra de la investigación y se indican las técnicas de recolección de datos.

Capítulo IV. Situación actual

Presenta la descripción del proceso de inyección llevado a cabo actualmente y todas las partes y elementos que lo conforman. Por último, se explica de qué manera se lleva a cabo el proceso actual de planificación y programación de la producción en el área de inyección.

Capítulo V. Sistema propuesto para la planificación y programación de la producción

Identifica la información necesaria para el sistema propuesto, se seleccionan técnicas adecuadas a los requerimientos del mismo, se describe su construcción y por último se comprueba su funcionamiento utilizando datos reales de la empresa.

Capítulo VI. Conclusiones y recomendaciones

Presenta las conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPÍTULO I

LA EMPRESA

1.1 Descripción de la empresa

PAVCO de Venezuela S.A. inicia sus operaciones en 1959 bajo el nombre de Tubenplast S.A., como una empresa comercializadora de tuberías. En el año 1990, la empresa cambia su razón social a PAVCO DE VENEZUELA S.A. y actualmente forma parte del grupo Mexichem. [1]

PAVCO es una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de tuberías, conexiones y accesorios de Policloruro de Vinilo (PVC) que brinda soluciones integrales de manera eficiente en la conducción de fluidos, electricidad y redes telefónicas. [1]

PAVCO opera bajo dos líneas de productos: Edificaciones e Infraestructura, las cuales son producidas bajo estrictos patrones de calidad. [1]

1.1.1 Visión

Producir y comercializar rentablemente soluciones completas, innovadoras y de clase mundial para la conducción y control de fluidos, operando en un marco de ética, ecoeficiencia y responsabilidad social. [1]

1.1.2 Misión

Ser reconocidos como un grupo empresarial líder en Latinoamérica conformado por empresas que crean valor económico operando dentro de un marco de ética, de ecoeficiencia y de responsabilidad social, de manera que podamos contribuir a mejorar la calidad de vida de la gente. [1]

1.1.3 Estructura organizativa



Figura 1. Organigrama gerencial de la empresa
Fuente: PAVCO de Venezuela S.A.-15

Este trabajo va dirigido a la Gerencia de Inyección y Procesos Especiales, la cual se encarga de la planificación y programación de la producción de accesorios y conexiones de PVC.

1.2 Planteamiento del problema

PAVCO de Venezuela S.A. es una empresa productora y comercializadora de tuberías y conexiones de PVC. Su planta productora se ubica en Cúa, estado Miranda, donde laboran aproximadamente unas 250 personas. Sus principales productos son tuberías de PVC (manufacturadas a través de un proceso de Extrusión), conexiones del mismo material (manufacturadas a través de un proceso de Inyección) y soldadura líquida (cemento solvente, mezclado y envasado).

En el caso del departamento de Inyección, este contaba hasta hace poco tiempo con 7 máquinas inyectoras y 50 moldes de inyección para producir diferentes piezas. Recientemente esta cantidad ha aumentado a 23 máquinas y 104 moldes. La planificación y programación de la producción es llevada a cabo actualmente de forma manual. Dicho proceso se ha ido complicando a medida que la cantidad de máquinas y piezas a producir ha incrementado, dado el gran número de combinaciones posibles que se pueden generar entre máquinas y moldes, originando retrasos en el cumplimiento de la demanda, exceso de inventario y uso inapropiado de las máquinas en cuanto al tiempo disponible de producción, atribuibles a una planificación y programación de la producción inadecuada, por lo cual, este proceso debe ser revisado y mejorado.

El desarrollo del diseño de un sistema de planificación y programación de la producción, permitirá un uso más racional de las máquinas, un mejor manejo de los inventarios de producto terminado y una mejor respuesta a los pedidos de los clientes.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Diseñar un sistema de planificación y programación de la producción en una planta productora de conexiones de PVC.

1.3.2 Específicos

1. Caracterizar el proceso de producción llevado a cabo en el área de inyección.
2. Identificar los datos necesarios para la planificación y programación de la producción del área de inyección, para el horizonte de planificación que determine la empresa.
3. Seleccionar una técnica de programación matemática adecuada para la elaboración del modelo.
4. Desarrollar un modelo de planificación y programación de la producción con base en la técnica de programación matemática seleccionada.
5. Comprobar el funcionamiento del modelo desarrollado.
6. Elaborar un manual de funcionamiento del modelo desarrollado.

1.4 Alcance

El trabajo se realizará en la planta de PAVCO de Venezuela S.A., ubicada en Cúa, Edo Miranda, en el área de inyección que consta de 23 máquinas inyectoras y 104 moldes de piezas PVC.

En cuanto a la planificación de la producción, este trabajo abarca la revisión del sistema actual de planificación, su estructura y los resultados en cuanto a tipos y cantidades de piezas a producir en un período de planificación determinado. Una vez revisado el sistema actual, se realiza el rediseño del mismo, considerando los datos históricos de ventas, los niveles y políticas de inventario de producto terminado y las políticas de lotes mínimos de producción por producto. El nuevo sistema de planificación de la producción, incluye los pronósticos de ventas, inventario de seguridad y los requerimientos de producción, para un período de planificación determinado.

En cuanto a la programación de la producción, se realiza el diseño de un sistema que asigne moldes de piezas de PVC a máquinas inyectoras a través de un modelo matemático. Dicho modelo, se adapta a los requerimientos de productos obtenidos en la planificación de la producción, al tiempo disponible de producción por máquina y a las políticas de lotes mínimos de producción por producto establecidos por la empresa.

El producto final de este trabajo, será un sistema que incorpore las etapas de planificación y programación de la producción, indicando la cantidad de producto que debe ser fabricado mensualmente, la o las máquinas que deben utilizarse, el tiempo de fabricación de cada producto y el tiempo total de operación en el área de inyección.

1.5 Limitaciones

- Por políticas de confidencialidad y protección de información de la empresa, algunos de los valores utilizados para el desarrollo de este trabajo especial de grado serán modificados con un factor y no reflejan necesariamente la situación real de la empresa.
- La recolección y organización de la información técnica referente al área de inyección dependerá de los registros que posea la empresa.
- El horizonte de planificación del sistema se establece en períodos mensuales.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Tabla 1
Antecedente #1

| Título | Fecha de publicación | Autores | Institución |
|--|----------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| “Diseño de un modelo que optimice las cantidades de producción en el Área de Chocolate” | Octubre 1994 | Montero, María C. Zurga, Analina | Universidad Católica Andrés Bello |
| <p>El objetivo general de este trabajo consistió en: “Proponer un modelo que sirva de base a la creación de un sistema que indique las cantidades de producción que maximicen los beneficios de la empresa, con el fin de ofrecer una herramienta que oriente a la gerencia en la toma de decisiones.”</p> <p>En sus objetivos específicos destacan:</p> <ul style="list-style-type: none"> - “Identificar los parámetros y variables que influyen de manera relevante en la construcción del modelo propuesto.” - “Proponer un modelo que se aproxime a las condiciones específicas de la empresa.” <p>Conclusiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - “Los modelos son herramientas útiles para representar sistemas complejos y su uso es recomendable para resolver problemas reales de toma de decisiones en las empresas.” - “El modelo propuesto ofrece una guía satisfactoria que orienta a la gerencia a la toma de decisiones frente al problema de determinar qué cantidades son las más recomendables a producir en un período.” - “Automatizando el modelo propuesto, es posible obtener datos de producción que permiten planificar actividades en la planta, como por ejemplo el número de veces que se debe utilizar cada uno de los equipos.” | | | |

Tabla 2
Antecedente #2

| Título | Fecha de publicación | Autores | Institución |
|--|-----------------------------|----------------------|---|
| “Sistema de planeación, control de inventarios y control de la producción en un grupo farmacéutico” | Octubre 2014 | Jiménez, Geovanny R. | Universidad Nacional Autónoma de México |
| <p>El objetivo general de este trabajo consistió en: “Desarrollar e implementar un Sistema Integral de Planeación de la Producción del giro farmacéutico, que brinde beneficios a la organización; de tal suerte que se agilicen los procesos de trabajo, cumpliendo con las expectativas de venta y de producción.”</p> <p>Conclusiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> - “Las variaciones en la demanda son un hecho, de modo que el sistema de planeación debe incluir la flexibilidad suficiente para manejar esas variaciones. Ha sido posible lograr cierta flexibilidad, desarrollando fuentes alternativas de oferta, capacitando a los trabajadores para operar diferentes equipos. Trabajadores multifuncionales.” - “La planeación de la producción y control de inventarios ha jugado un rol clave en las actividades de las operaciones técnicas del Grupo Farmacéutico, determinar cuánto fabricar, cuándo fabricar y en donde hacerlo implica un conjunto de responsabilidades que han contribuido al éxito del Grupo.” | | | |

2.2 Bases teóricas

Proceso productivo

Un proceso productivo se puede describir como una serie de pasos o procedimientos que agregan valor a la empresa u organización, donde la materia prima es trasformada en un producto final para el consumo de los clientes. [2]

El área productiva o de fabricación es el proceso de mayor generación de valor en cualquier organización. Los sistemas productivos han sido el eje de los procesos de desarrollo de las empresas de manufactura e industria alrededor del mundo. [2]

Proceso de inyección

Durante el proceso de inyección se funde el plástico en un extrusor y se utiliza el tornillo del extrusor para inyectar el plástico en un molde donde se enfría. La velocidad y consistencia son elementos claves para que la operación de moldeo por inyección sea exitosa. [3]

Etapas del proceso de inyección

El proceso de obtención de una pieza de plástico por inyección, sigue un orden de operaciones que se repite para cada una de las piezas. Este orden, conocido como ciclo de inyección, se puede dividir en las siguientes etapas:

a) Cierre del molde: Con el cierre del molde se inicia el ciclo, preparándolo para recibir la inyección del material fundido. En esta fase se aplica la fuerza de cierre, que es aquella que hace la máquina para mantener cerrado el molde durante la inyección.

b) Fase de llenado: Una vez cerrado el molde y aplicada la fuerza de cierre, se inicia la fase de llenado del molde (inyección). El husillo de la unidad de inyección inyecta el material fundido, dentro del molde y a una presión elevada; al inyectar, el husillo avanza sin rotación. La duración de esta etapa puede ser de décimas de segundo hasta varios segundos, dependiendo de la cantidad de material a inyectar y de las características del proceso.

c) Plastificación o dosificación y enfriamiento: El husillo comienza a girar de forma que el material va pasando progresivamente de la tolva de alimentación a la cámara de inyección, homogeneizándose tanto su temperatura como su grado de mezcla. Esta fase se realiza en forma paralela a la etapa de enfriamiento, acelerando así el tiempo total de ciclo. A medida que el husillo va transportando el material hacia delante, éste sufre un retroceso debido a la acumulación que se produce en la zona delantera.

d) Apertura del molde y expulsión de la pieza: Cuando se considera que el material de la pieza ha alcanzado la temperatura denominada de extracción, el molde se abre y se expulsa la pieza de su interior para reiniciar el ciclo de inyección.

e) Enfriamiento: Esta fase comienza simultáneamente con la de llenado, dado que el material empieza a enfriarse tan pronto toca la pared del molde. Finaliza cuando la pieza alcanza la temperatura adecuada para su extracción. De esta forma, esta fase del ciclo se solapa con las anteriores. [4]

Proceso productivo con enfoque a producto

Los procesos productivos pueden clasificarse según el enfoque estratégico con el que la empresa desee generar sus productos. Si el producto que se desea generar es de baja variedad pero de alto volumen, nos referimos a un enfoque a producto. Se representa como un flujo continuo donde la planta de producción es organizada por producto. Se especializa adicionalmente por ser altamente automatizado y suele operar las 24 horas del día para evitar cierres y costos de arranque. [5]

Planificación de la producción

En las industrias productoras se debe hacer uso correcto de las máquinas, el tiempo, el personal capacitado, los espacios destinados para producir, etc. La planificación de la producción consiste en definir el volumen y el momento de fabricación de los productos, estableciendo un equilibrio entre la producción y la capacidad a los distintos niveles, en busca de la competitividad deseada. Para ello, se requiere un proceso concatenado de planes que vinculen los distintos niveles jerárquicos de la organización. [6]

El principal objetivo de la planificación de la producción es determinar una estrategia de forma anticipada que permita que se satisfagan unos requerimientos de producción, optimizando los recursos de un sistema productivo. [7]

Etapas del proceso de planificación

Básicamente las cinco fases que componen el proceso de planificación de la producción son:

1. Planificación estratégica o a largo plazo.
2. Planificación agregada o a medio plazo.
3. Plan maestro de producción (PMP).
4. Programación de componentes.
5. Ejecución y control.

Las tres primeras etapas consisten en planificar en distintos tiempos la producción para luego en las siguientes dos etapas programar y controlar el proceso productivo. [8]

Estas fases se deberán llevar a cabo en cualquier empresa manufacturera, independientemente de su tamaño o actividad, aunque la forma como estas se desarrollen dependerá de las características propias de cada sistema productivo. [9]

Planificación estratégica o a largo plazo

La planificación estratégica consiste en definir los objetivos de la organización a largo plazo, identificar metas y objetivos cuantitativos, desarrollar estrategias para alcanzar dichos objetivos y localizar recursos para llevar a cabo dichas estrategias. [10]

Planificación agregada o a medio plazo

La planeación agregada aborda la determinación de la fuerza laboral, la cantidad de producción, los niveles de inventario y la capacidad externa, con el objetivo de satisfacer los requerimientos para un horizonte de planificación de 6 a 18 meses. [7]

Plan maestro de producción (PMP)

Una vez realizada la planificación estratégica o a largo plazo y la planificación agregada o a mediano plazo, la información obtenida se consolida con una planificación maestra de producción. El plan o planificación maestra se define de forma operativa, ya que respecta directamente a los artículos y las cantidades que deben ser fabricadas en un período determinado. [11]

En cuanto al horizonte de tiempo de un plan maestro de producción (PMP), este puede ser variable y dependiente del tipo de producto, del volumen de producción y de los

componentes de tiempo de entrega, este puede ir desde unas horas hasta varias semanas y meses, con revisiones, generalmente, semanales. [11]

Es importante subdividir su horizonte de tiempo en tres:

1. Fijo: Periodo durante el cual no es posible hacer modificaciones al PMP (Plan Maestro de Producción).
2. Medio fijo: Aquel en el que se pueden hacer cambios a ciertos productos.
3. Flexible: Lapso de tiempo más alejado, en el cual es posible hacer cualquier modificación al PMP. [8]

Elaboración de un plan maestro de producción

Para llevar a cabo un plan maestro de producción es necesario contar con información relevante de los clientes, las máquinas, los productos e históricos de ventas pasadas, etc. Se considera que los elementos importantes para la obtención de un plan maestro de producción son los siguientes:

1. Pronósticos de ventas a corto plazo en unidades de producto.
2. Pedidos reales comprometidos con los clientes.
3. Capacidad disponible de la instalación.
4. Fuentes de demanda adicional.
5. Existencias en inventario en unidades de producto. [11]

Programación de la producción

Programar la producción es el último eslabón en la cadena de la planificación. Esta etapa, consiste en ajustar tareas u operaciones particulares a personas y máquinas específicas. Su horizonte de tiempo es a corto plazo, puede ser tratado en días, horas y minutos. [12]

Los programas a corto plazo convierten lo establecido en los entregables de los planes maestros de producción, en asignaciones de cargas y secuencias muy específicas de fuerza laboral, materiales y maquinaria. Su principal objetivo es cumplir con las metas de demanda de acuerdo a la capacidad disponible; una programación a corto plazo puede

efectuarse de muchas maneras, el tipo de programación que se utilice para asignar las cargas depende en gran medida del enfoque del sistema productivo, y la secuencia depende de los criterios de programación que primen teniendo en cuenta los factores que afecten el proceso. [12]

Técnicas de programación

Las técnicas utilizadas en la programación a corto plazo se pueden clasificar en:

1. Programación hacia adelante: Esta programación se inicia tan pronto como se conocen los requerimientos de producción, utilizarla implica en gran medida desconsiderar la fecha de entrega, y es utilizada usualmente en procesos que trabajan sobre pedido, en los que la entrega se requiere lo antes posible.

2. Programación hacia atrás: Esta programación inicia con la fecha de entrega del pedido, su principal consideración es cumplir con los plazos de entrega pactados o establecer plazos alcanzables. La dinámica de esta programación consiste en programar en primer lugar la operación final, y sucesivamente las operaciones que la anteceden en orden inverso.

En la actualidad, se emplea a menudo una combinación de ambas técnicas hallando un equilibrio entre los pedidos de los clientes y los recursos necesarios para producir; son muchos los factores que hoy en día afectan a la programación, por tanto la asignación de una fecha no asegura que el programa vaya a cumplirse para dicho tiempo. [12]

Criterios de programación

Es en este punto, donde la compañía debe establecer parámetros de programación, definiendo sus objetivos con respecto a la producción. Los criterios de programación se clasifican de la siguiente manera:

1. Maximizar la utilización: Consiste en el uso que la técnica empleada haga de la capacidad instalada.

2. Minimizar el tiempo medio de terminación: Consiste en la capacidad que tiene la técnica para efectuar entregas de pedidos, es muy bien estimada por la parte financiera dado que optimiza los flujos de dinero de la empresa.

3. Minimizar la media de trabajo en proceso: Consiste en reducir el número de trabajos que permanecen en el sistema.

4. Minimizar los retrasos de los pedidos: Consiste en reducir el tiempo medio de espera de los clientes, teniendo en cuenta las fechas de entrega. [12]

Fases de la programación

1. Asignación de cargas

Esta se define como la asignación de tareas a cada centro de trabajo o de proceso, que permite controlar la capacidad y la asignación de actividades específicas en cada centro de trabajo. En general las técnicas más empleadas en la asignación de carga son:

- Gráficos Gantt
- Perfiles de carga o diagramas de carga.
- Métodos optimizadores (algoritmo de Kuhn o método Húngaro)
- Soluciones heurísticas (método de los índices). [8]

2. Secuenciación de pedidos

Esta actividad consiste, en la determinación del orden en que serán procesados los pedidos en cada centro de trabajo, una vez establecida la existencia de capacidad. El problema de la Secuenciación se hace más complejo en la medida que aumenta el número de centros de trabajo, sin importar la cantidad de pedidos; así mismo, es importante tomar en cuenta el tipo de configuración del taller, pues de esto depende la aplicabilidad de las diferentes técnicas. [8]

3. Programación detallada

Esta etapa determina los momentos de comienzo y fin de las actividades de cada centro de trabajo, así como las operaciones de cada pedido para la secuencia realizada. [8]

Modelo matemático

Un modelo matemático es una descripción, en lenguaje matemático, de un objeto que existe en un universo no-matemático.

En términos generales, un modelo matemático cuenta con 3 fases:

Fase 1: Construcción del modelo: Transformación del objeto no-matemático en lenguaje matemático.

Fase 2. Análisis del modelo: Estudio del modelo matemático.

Fase 3. Interpretación del análisis matemático: Aplicación de los resultados del estudio matemático al objeto inicial no-matemático. [13]

Modelos matemáticos para la programación de producción

1. Modelo de programación lineal

La programación lineal corresponde a un algoritmo a través del cual se resuelven situaciones reales en las que se pretende identificar y resolver dificultades para aumentar la productividad respecto a los recursos (principalmente los limitados y costosos), aumentando así los beneficios. [14]

El objetivo primordial de la Programación Lineal es optimizar, es decir, maximizar o minimizar funciones lineales en varias variables reales con restricciones lineales (sistemas de inecuaciones lineales), optimizando una función objetivo también lineal. [14]

El primer paso para la resolución de un problema de programación lineal consiste en la identificación de los elementos básicos de un modelo matemático, estos son:

- Función Objetivo
- Variables
- Restricciones. [14]

La función objetivo tiene una estrecha relación con la pregunta general que se desea responder. Sí en un modelo resultasen distintas preguntas, la función objetivo se relacionaría con la pregunta del nivel superior, es decir, la pregunta fundamental. [14]

Las variables de decisión guardan relación con respecto a la función objetivo, puesto que estas se identifican partiendo de una serie de preguntas derivadas de la pregunta fundamental. Las variables de decisión son en teoría factores controlables del sistema que se está modelando, y como tal, estas pueden tomar diversos valores posibles, de los cuales se precisa conocer su valor óptimo, que contribuya con la consecución del objetivo de la función general del problema. [14]

En cuanto a las restricciones, nos referimos a todo aquello que limita la libertad de los valores que pueden tomar las variables de decisión. [14]

La estructura general de un modelo de programación lineal se expresa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{Maximizar (o minimizar):} \quad & Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\
 \text{Sujeto a:} \quad & a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\
 & a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\
 & \vdots \\
 & a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \\
 & x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0
 \end{aligned}$$

Donde:

Z: Función objetivo que contiene el criterio a optimizar

x_j: Variables de decisión (x₁, x₂, ..., x_n)

b_i: Disponibilidad máxima de recursos

a_{ij}x_j + a_{ij}x_j + ... + a_{ij}x_j ≤ B_i: Restricciones de utilización de recursos

x_j ≥ 0: Restricciones de no negatividad. [15]

2. Modelo de programación lineal entera

Con el término Programación lineal entera, (PLE), nos referiremos a problemas que formalmente son de programación lineal, pero en los que algunas o todas las variables están restringidas a tomar valores enteros.

Los modelos de programación lineal entera también incluyen variables binarias, éstas pueden utilizarse para modelar situaciones en las que se decide si una acción se realiza, (la variable toma el valor 1), o si no se realiza, (la variable toma el valor 0). [16]

2.3 Definición de términos básicos de la empresa

Anillo de goma: También llamado empaquetadura, sirve de junta hermética entre dos superficies acopladas. [17]

Codo: Accesorio de tubería que tiene una curva a 90 grados, empleada para desviar la dirección recta de la misma. [18]

Compuesto: Materia prima (formulaciones procesadas) que se utiliza para inyectar en el molde. [18]

Conexión: Componente recto, curvo, o en forma de T que se emplea para conectar dos tubos o conductos. [18]

Máquina inyectora: Instrumento responsable del proceso de inyección. [18]

Molde: Elemento hueco de acero inoxidable que se introduce en la máquina inyectora para ser llenado con el polímero para producir una pieza con la forma deseada. [18]

Órdenes de fabricación: Las órdenes de fabricación o producción permiten planificar el proceso de producción a nivel de ejecución. Contienen toda la información necesaria para ejecutar la producción como qué actividad se debe realizar, qué productos de entrada se precisan y qué recursos son necesarios y cuando procesar las actividades. [19]

Pellets: Pequeñas concentraciones de resina en forma de óvalos. [18]

PVC: El Policloruro de vinilo, es un material plástico proveniente de una combinación química de carbono, hidrógeno y cloro. [20]

Racor en T: Accesorio en forma de T que permite realizar una conexión a tres bandas. [18]

Racor en Y: Accesorio de tubería que une un conducto principal con un ramal situado a 45°. [18]

Rebaba: Porción de materia que sobresale en los bordes o en la superficie de un objeto cualquiera. [17]

SAP R/3: El SAP R/3 es un sistema de tipo ERP (Enterprise Resource Planning) que ha sido diseñado en base a una plataforma que ofrece una gran versatilidad de programación, facilidad de uso, y precisión en el manejo total de los datos recolectados. [21]

Solicitudes de pedido: Documento de SAP que crea un sector solicitando al Departamento de Compras la adquisición de productos o contratación de servicios. [22]

Tiempo de ciclo: Duración en segundos desde que la máquina inyecta el material dentro de las cavidades del molde hasta que la máquina abre el molde y las piezas son expulsadas. [1]

Tolva: Caja en forma de tronco de pirámide o de cono invertido y abierta por debajo, dentro de la cual se echan granos u otros cuerpos para que caigan poco a poco. [23]

2.4 Herramientas utilizadas

Diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers): Es un diagrama que permite analizar un proceso de una manera más detallada reconociendo al respectivo suplidor, así como también identificando todas las entradas y salidas del proceso, además permite determinar los clientes vinculados a cada paso del proceso. [24][25]

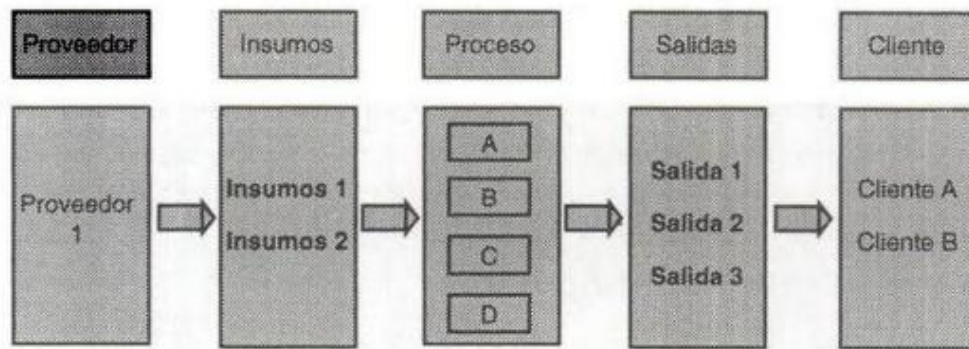


Figura 2. Ejemplo de un diagrama SIPOC.

Fuente: A. Tovar, A. Mota-07.

Proveedor: Es aquel que aporta los insumos o recursos.

Insumos: Es todo aquello que se requiera para realizar el proceso (información, materiales, actividades o recursos).

Proceso: Conjunto de actividades que transforman los insumos en salidas, dándoles un valor agregado.

Salidas: Es el resultado del proceso.

Cliente: Son aquellos que reciben el producto o servicio, pueden ser internos o externos.

Flujograma de procesos: Es una representación gráfica del paso a paso de las operaciones que se realizan dentro del proceso de fabricación de un producto. [26]



Figura 3. Ejemplo de un flujograma de procesos

Fuente: N, Rodríguez-09.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación

El presente Trabajo Especial de Grado es una investigación de tipo proyecto factible.

Un proyecto factible consiste en la elaboración de una propuesta de un modelo operativo viable, o una solución posible a un problema de tipo práctico, para satisfacer necesidades de una institución o grupo social. La propuesta debe tener apoyo, bien sea en una investigación de campo, o en una investigación de tipo documental. [27]

En función de lo anterior, el presente Trabajo Especial de Grado propone el diseño de un sistema de planificación y programación de la producción en el área de inyección como solución práctica para la empresa. A su vez, la propuesta se apoya en otros dos tipos de investigación.

En primer lugar, una investigación de campo, ya que para validar el sistema, los datos de producción recolectados por la empresa son indispensables y son registros históricos originales de la organización.

En segundo lugar, una investigación documental, ya que para desarrollar un modelo adecuado para la planificación y programación de la producción se deben consultar fuentes bibliográficas y documentales para seleccionar la técnica matemática que se mejor se adapte y satisfaga las necesidades de la empresa.

3.2 Nivel de Investigación

El nivel de investigación se refiere al grado de profundidad con el que se aborda un fenómeno u objeto. [28]

En el nivel de investigación proyectivo, el investigador debe formular su propuesta, diseño, proyecto, programa, etc. Fundamentado en un proceso sistemático de búsqueda e indagación donde se identifican las necesidades y se define el evento a modificar. [29]

Dicho esto, el presente Trabajo Especial de Grado se adapta a un nivel de investigación proyectivo, puesto que en su desarrollo, se procede a caracterizar el proceso productivo que se lleva a cabo actualmente en el área de inyección, la planificación y programación de la producción de dicha área en la planta productora en cuestión, para así identificar cuáles son las necesidades que debe satisfacer la propuesta y realizar su diseño. Una vez descrita la situación actual, identificadas las necesidades de la empresa y realizada una investigación teórica pertinente al proyecto de investigación, se procede a diseñar un modelo con base en las técnicas de programación matemática que dé solución práctica al problema.

3.3 Diseño de Investigación

El diseño de investigación se define con base en el procedimiento. El diseño se refiere a dónde y cuándo se recopila la información, así como la amplitud de la información a recopilar, de modo que se pueda dar respuesta a la pregunta de investigación de la forma más idónea posible. [29]

El dónde alude a las fuentes. Los diseños de fuente mixta, abarcan tanto fuentes vivas como documentales. [29]

En cuanto al dónde, el Trabajo Especial de Grado cuenta con un diseño de fuente mixta, ya que la recolección de datos proviene de una investigación de campo, es decir, situación actual del área de inyección (datos acerca de las máquinas operativas, los moldes a utilizar, ventas, inventarios, etc.) Pero también existen datos provenientes de

documentos bibliográficos, información relevante acerca de la planificación y programación de la producción, modelos preestablecidos, etc.

El cuándo del diseño, alude a la perspectiva temporal. Un diseño puede estar dirigido a reconstruir hechos pasados, entonces se denomina histórico o retrospectivo pero en el diseño transeccional el investigador estudia el evento en un único momento del tiempo. Puede haber diseños históricos transeccionales. [29]

Con respecto al cuándo, el diseño es histórico transeccional, ya que se trabaja con datos históricos de la empresa para validar el modelo y el resultado obtenido corresponde a un período determinado.

3.4 Población y muestra

La población, o en términos más precisos población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio. [28]

El presente Trabajo Especial de Grado abarca una población finita de 23 máquinas inyectoras y 104 moldes de inyección, de los cuales existe un registro documental que los caracteriza. Dichas máquinas y moldes pertenecen al área de inyección de la planta productora y comercializadora PAVCO de Venezuela S.A.

Para el presente caso de estudio es posible abarcar la totalidad de los elementos que conforman la población, por lo cual no se recurre a la selección de una muestra.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. [28]

Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso, dispositivo o formato (en papel o digital), que se utiliza para obtener, registrar o almacenar información. [28]

Lo anteriormente definido, se desglosa según el dónde de la recolección de datos, como se muestra a continuación:

Tabla 3
Recolección de datos

| Diseño de investigación | Técnica de recolección | Instrumento de recolección |
|-------------------------|---|---|
| De campo | <u>Entrevista no estructurada:</u> - Gerente de inyección. - Planificadora de producción. | - Libreta de notas. - Grabadora de voz. - Documentos impresos. - Documentos digitalizados. |
| Documental | <u>Revisión documental:</u> - Libros. - Trabajos de Grado. - Documentos en línea. | - Computadora. |

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

SITUACIÓN ACTUAL

4.1 Caracterización del proceso productivo en el área de inyección

La caracterización del proceso de inyección se desagrega en dos etapas: (4.1.1) Vínculos del proceso de inyección y (4.1.2) Análisis del proceso de inyección.

4.1.1 Vínculos del proceso de inyección

En esta etapa se describen las partes y elementos vinculados con el proceso de inyección.

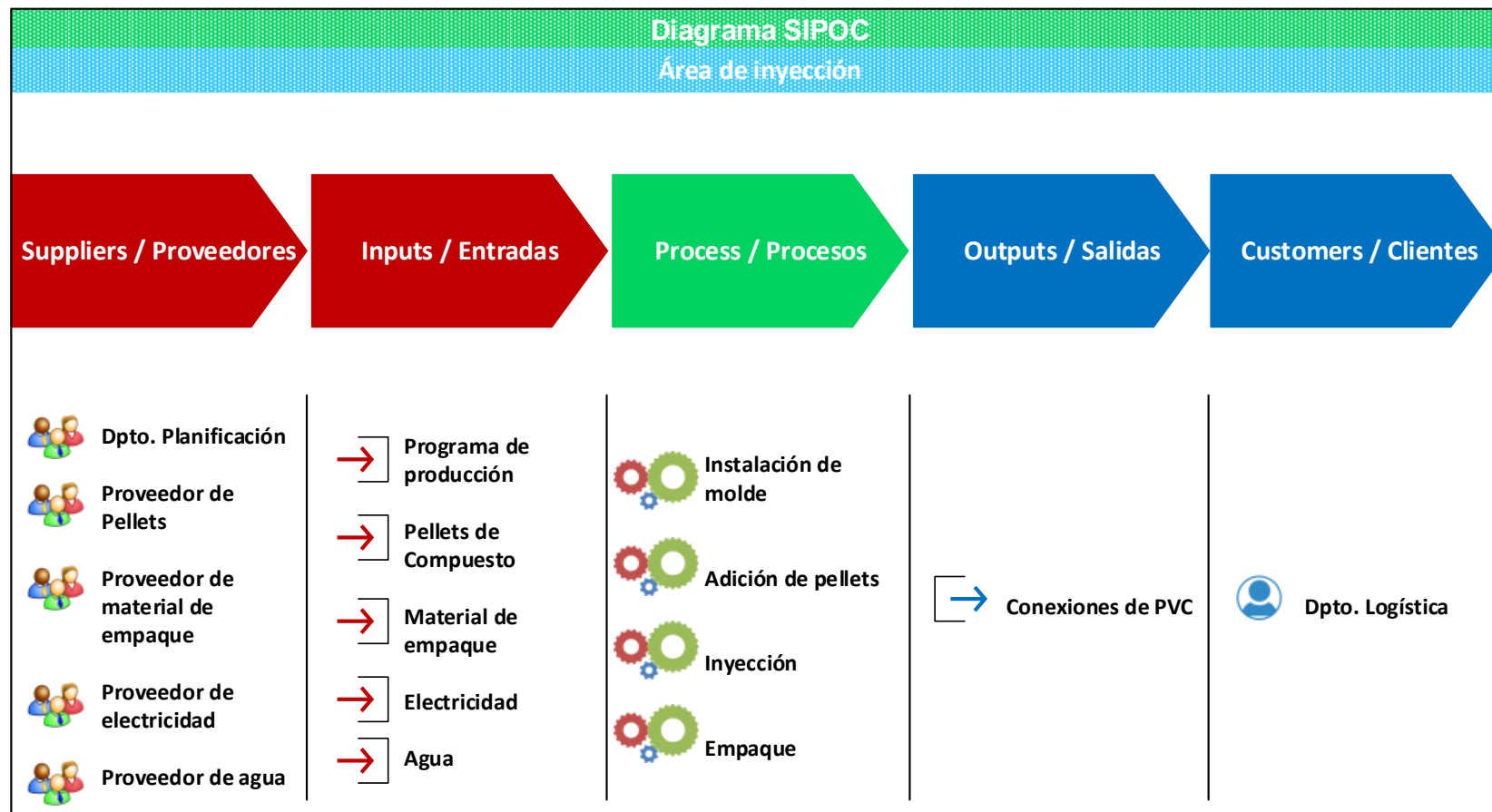


Figura 4. Diagrama SIPOC del proceso de inyección.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.1 Suppliers / Proveedores

- El departamento de planificación suministra el programa de producción para cada centro de trabajo (máquinas) en el área de inyección, donde se indica el tipo de pieza y la cantidad requerida a producir. Este trabajo especial de grado está centrado en la emisión de un programa de producción que se adapte de mejor manera a las necesidades de la empresa.

- Se cuenta con dos proveedores de pellets, uno nacional y uno internacional. Estos suministran pellets de colores específicos según el propósito de la conexión; pellets de color amarillo para accesorios de tuberías sanitarias, pellets de color gris para accesorios de tuberías de agua fría y pellets de color blanco para accesorios de electricidad e infraestructura.



Figura 5. Pellets para accesorios de tuberías sanitarias.



Figura 6. Pellets para accesorios de tuberías de agua fría.



Figura 7. Pellets para accesorios de tuberías de electricidad e infraestructura.

- Se cuenta con seis proveedores nacionales de material de empaque. Estos suministran cajas de cartón, bolsas plásticas, etiquetas, pegamento y cinta adhesiva para embalar el producto terminado.



Figura 8. Material de empaque.

- La electricidad se obtiene a través del proveedor nacional y la empresa a su vez cuenta con una planta generadora de 750 KVA para el área de inyección.

- El agua se obtiene a través del proveedor nacional, la cual es necesaria en el área de inyección para la refrigeración de los motores de las máquinas y el enfriamiento de los moldes de inyección.

4.1.1.2 Inputs / Entradas

- El programa de producción indica el tipo de pieza a producir, la cantidad requerida, la máquina que será utilizada y el orden en el cual serán fabricadas.
- Los pellets son la materia prima que se adiciona a la tolva de la máquina inyectora para producir una conexión.
- El agua interviene en el proceso de refrigeración del motor de la máquina inyectora y en el proceso de enfriamiento del molde, el cual permite la solidificación de la materia prima fundida.

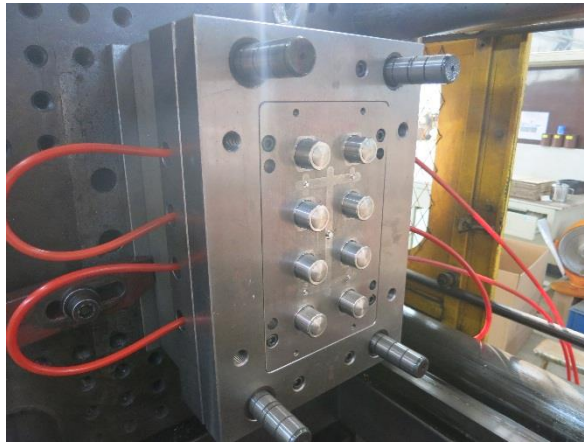


Figura 9. Área de enfriamiento del molde de piezas de PVC.



Figura 10. Área de enfriamiento del motor de la máquina inyectora.

- La electricidad permite el funcionamiento de las máquinas inyectoras.

4.1.1.3 Process / Procesos

- Según las especificaciones del plan de producción, se instala el molde en la máquina inyectora asignada para producir la pieza requerida.

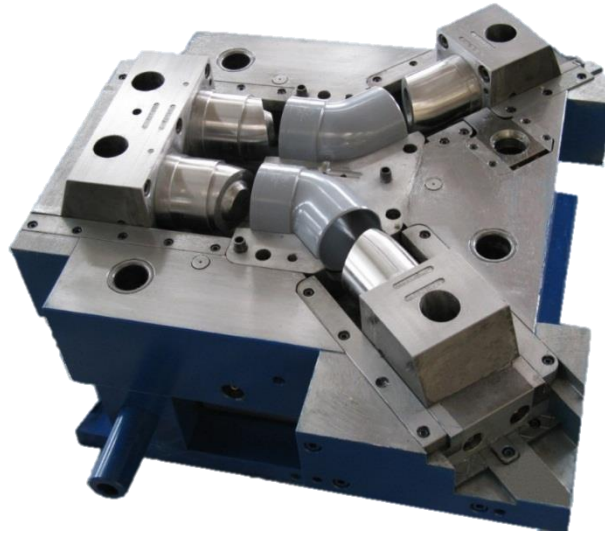


Figura 11. Molde de piezas de PVC.

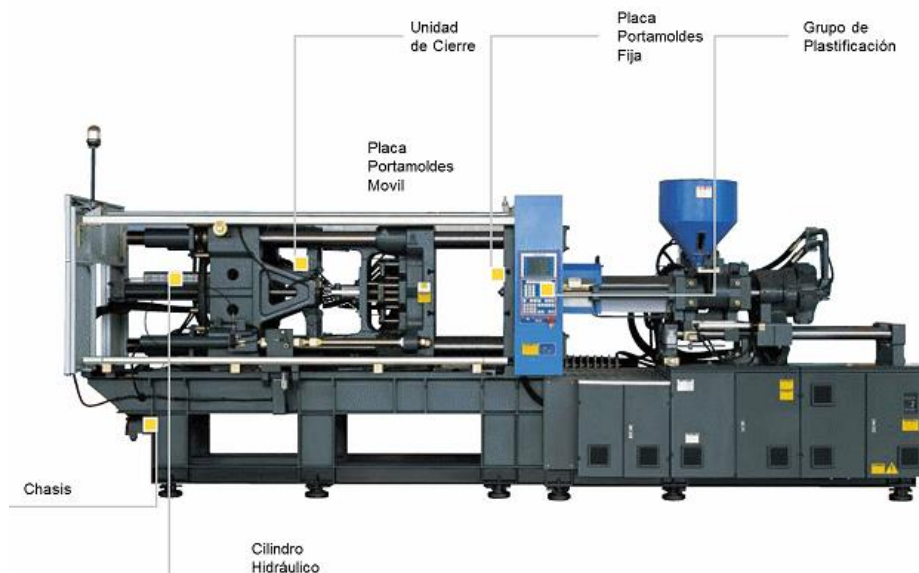


Figura 12. Máquina inyectora.

- Conocido el tipo de pieza requerida, se adiciona el compuesto del color correspondiente a su propósito comercial a través de la tolva de la máquina inyectora.

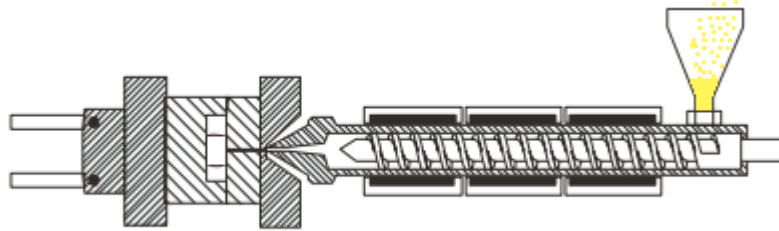


Figura 13. Adición del compuesto requerido.

- El material pasa a través de un cilindro de calentamiento o plastificación donde es derretido.

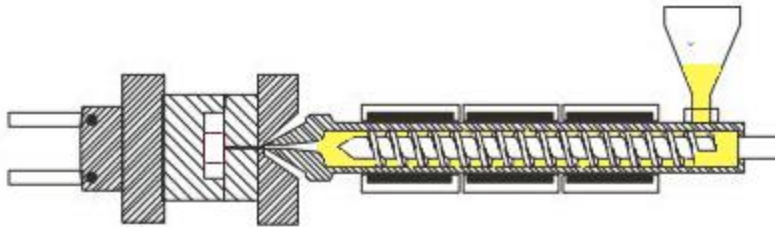


Figura 14. Proceso de calentamiento del material.

- El material derretido es inyectado en la cavidad del molde por medio de un tornillo sin fin.

- El plástico derretido llena por completo la cavidad del molde.
- El material se solidifica debido a la refrigeración del molde.
- La pieza es expulsada de la máquina inyectora.

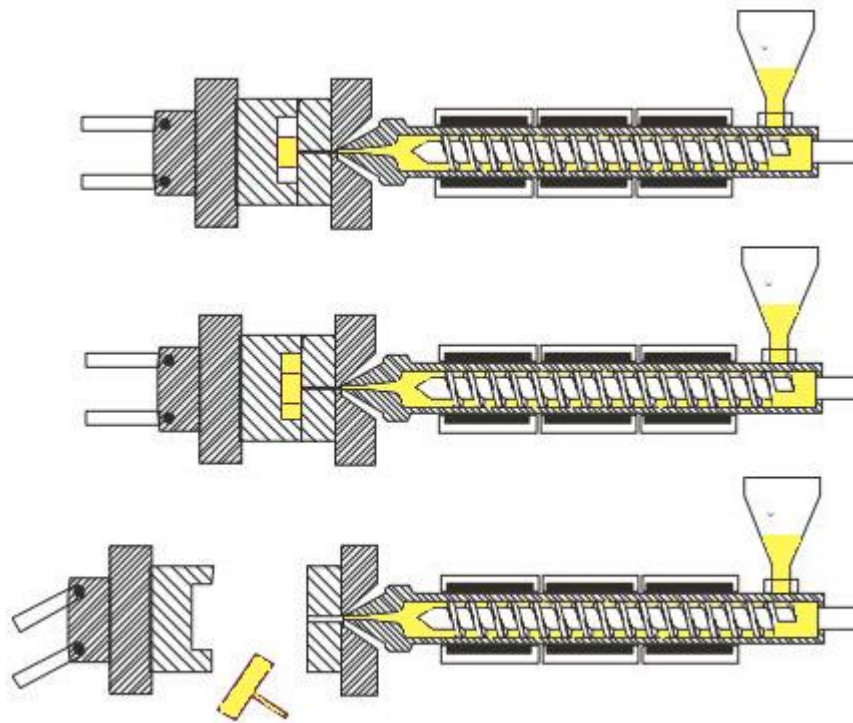


Figura 15. Secuencia de movimientos de la máquina inyectora durante el proceso de inyección del material dentro del molde.



Figura 16. Piezas de PVC terminadas.

- Las piezas terminadas son empacadas en cajas y/o bolsas según su tamaño.



Figura 17. Producto terminado.

4.1.1.4 Outputs / Salidas

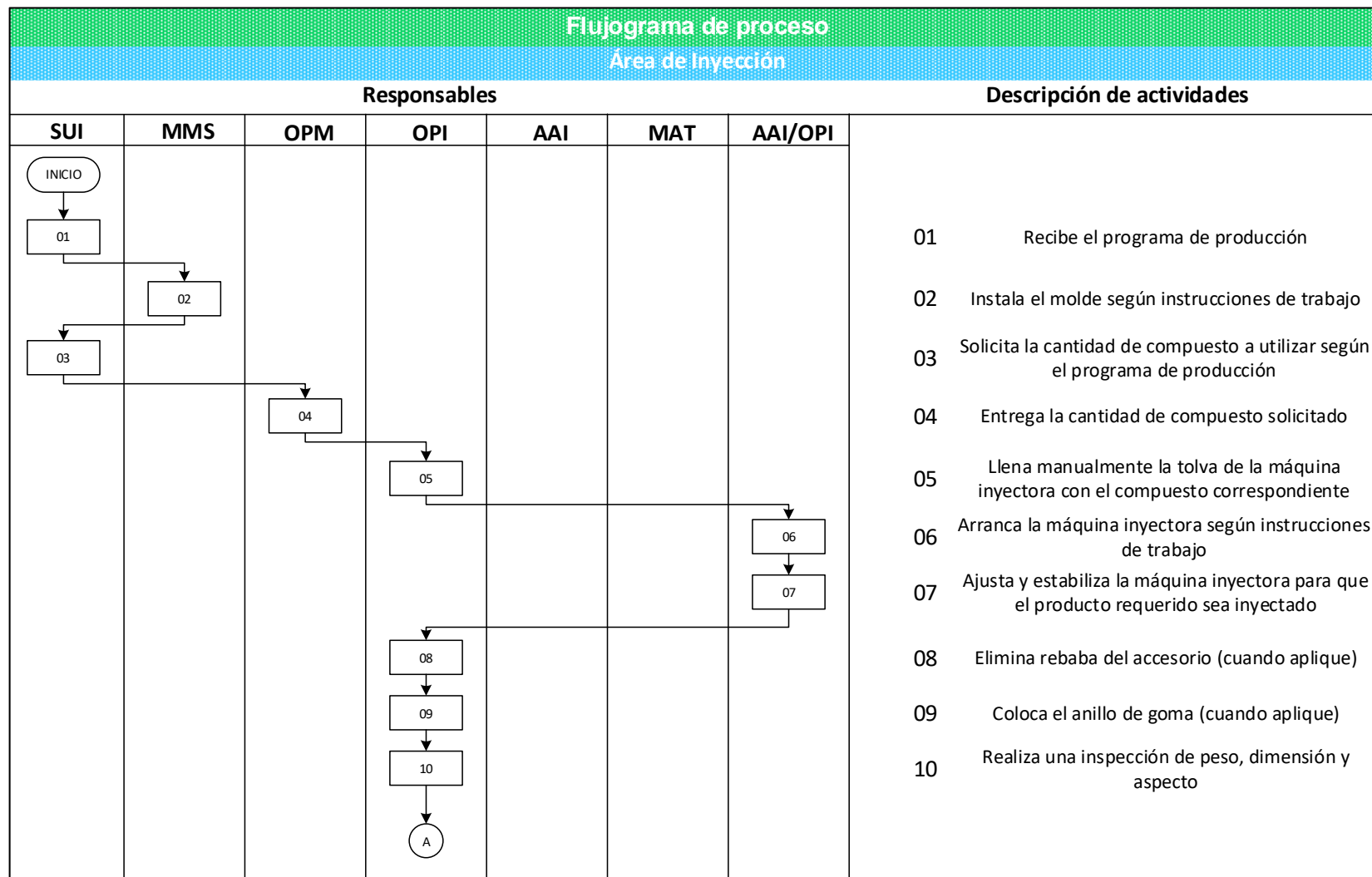
- Conexiones de PVC empacadas.

4.1.1.5 Customers / Clientes

- El departamento de logística recibe el producto terminado para su almacenamiento y distribución.

4.1.2 Análisis del proceso de inyección

En esta etapa, se describe la secuencia de las actividades del proceso de inyección y quiénes son los responsables de la ejecución de cada actividad.



(Continúa)

(Continuación)

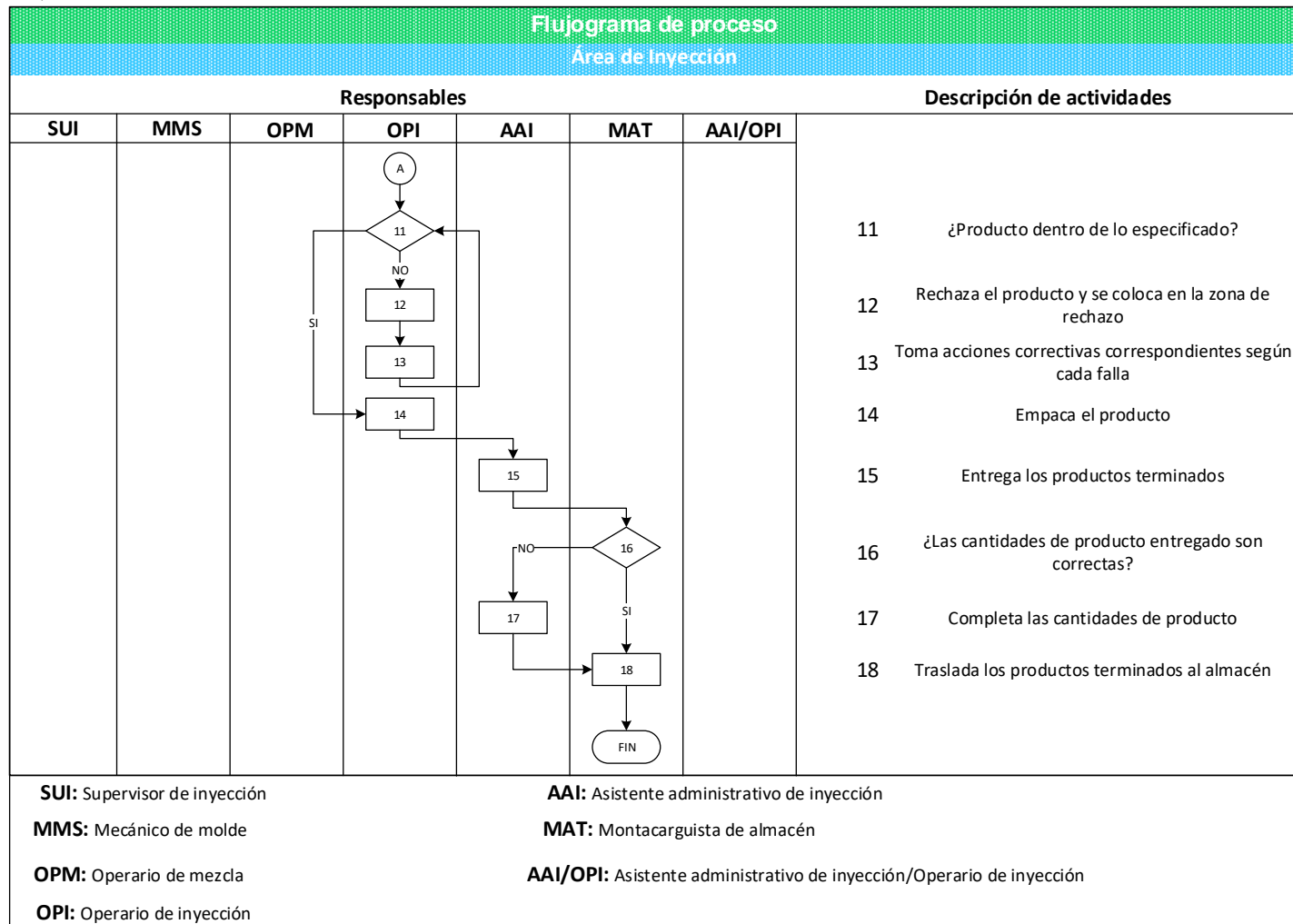


Figura 18. Flujograma del proceso de inyección.
Fuente: PAVCO de Venezuela S.A.-15

4.2 Clasificación y características de los moldes de piezas de PVC

Durante el desarrollo de este trabajo la empresa tomó la decisión de desincorporar 28 moldes de inyección ya que fueron considerados como obsoletos, debido a desgaste en sus cavidades y generación de productos no conformes con los estándares de calidad.

A continuación se presentan los moldes operativos en el área de inyección, sus características y clasificación según su propósito comercial.

4.2.1 Moldes para accesorios de tuberías sanitarias (compuesto amarillo)

Tabla 4

Moldes para accesorios sanitarios.

| N° | Descripción | Cavidades | N° | Descripción | Cavidades |
|----|-------------------|-----------|----|------------------|-----------|
| 01 | CODO 110X45° | 2 | 18 | TAPA REGISTRO 50 | 2 |
| 02 | CAMP. 110 C | 2 | 19 | TAPA REGISTRO 75 | 2 |
| 03 | CAMP.50 C | 8 | 20 | SIFON 135°x50 | 4 |
| 04 | CAMP.75 C | 4 | 21 | TEE110X50 | 2 |
| 05 | CODO 50X45° | 4 | 22 | TEE 110 x 75 C-E | 2 |
| 06 | CODO 75X45° | 2 | 23 | TEE 110 | 1 |
| 07 | CODO 110X90° | 2 | 24 | TEE DOBLE 50 C-E | 1 |
| 08 | CODO 50X90° | 4 | 25 | TEE 50 | 4 |
| 09 | CODO75X90° | 2 | 26 | TEE 75X50 | 2 |
| 10 | CODO 160X45° | 1 | 27 | TEE 75 C-E | 2 |
| 11 | REXC110X50 | 2 | 28 | YEE 110 C-E | 2 |
| 12 | R.EXC110X75 | 2 | 29 | YEE 110X50 | 2 |
| 13 | REXC75X50 | 2 | 30 | YEE 110X75 | 1 |
| 14 | TAP.SIM110 | 2 | 31 | YEE 50 C-E | 2 |
| 15 | TAP.SIM50 | 3 | 32 | YEE 75X50 | 2 |
| 16 | TAP.SIM 75 | 4 | 33 | YEE 75 C-E | 2 |
| 17 | TAPA REGISTRO 110 | 1 | 34 | DOBLE YEE 110 | 1 |

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Moldes para accesorios de electricidad/infraestructura (compuesto blanco)

Tabla 5

Moldes para accesorios de electricidad e infraestructura.

| N° | Descripción | Cavidades | N° | Descripción | Cavidades |
|----|---------------------------|-----------|----|----------------------------|-----------|
| 35 | SILLA 160X315 mm Novafort | 1 | 42 | UNION CONDUIT 1/2 | 8 |
| 36 | ADAPTADOR TERM. 1/2 | 12 | 43 | CODO 160X45° Novafort JAN. | 1 |
| 37 | ADAPTADOR TERM. 3/4 | 12 | 44 | SILLA 160 X 200mm Novafort | 1 |
| 38 | CAJA DOBLE | 1 | 45 | CODO 160X45° Novafort C-E | 1 |
| 39 | CAJA OCTAGONAL | 4 | 46 | TUERCA ADAPTADOR TERM. 1/2 | 12 |
| 40 | CAJA SENCILLA | 4 | 47 | TUERCA ADAPTADOR TERM. 3/4 | 12 |
| 41 | TAPA CAJA DOBLE | 2 | 48 | SILLA 160 X 250mm Novafort | 1 |

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3 Moldes para accesorios de tuberías de agua fría (compuesto gris)

Tabla 6

Moldes para accesorios de agua fría.

| N° | Descripción | Cavidades | N° | Descripción | Cavidades | N° | Descripción | Cavidades |
|----|------------------------------|-----------|----|----------------------------|-----------|----|-----------------------|-----------|
| 49 | ADAPT. MACHO 1" PRESION | 12 | 59 | ADAPT. HEMBRA 3/4 SCH 40 | 8 | 69 | UNION 3/4" SCH 40 | 8 |
| 50 | CODO 90 x 1" SCH 40 | 2 | 60 | TEE 1" SCH 40 | 2 | 70 | CODO 110x45 SCH 40 | 1 |
| 51 | CODO 90 x 1 1/2" SCH 40 | 2 | 61 | TEE PRESION 1/2 | 12 | 71 | CODO 110x90 SCH 40 | 1 |
| 52 | CODO 90 x 1/2 " SCH 40 | 16 | 62 | TAPON ROSC. 1/2 SCH 40 | 8 | 72 | CODO 75x45 SCH 40 | 2 |
| 53 | CODO 90 x 3/4" SCH 40 | 16 | 63 | TAPON SOLD. 1/2 SCH 40 | 8 | 73 | TEE 1 1/2" SCH 40 | 2 |
| 54 | ADAPT. MACHO 1/2" SCH 40 | 12 | 64 | TEE PRESION 3/4 SCH 40 | 6 | 74 | TEE 110 SCH 40 | 1 |
| 55 | ADAPT. MACHO 3/4" SCH 40 | 12 | 65 | TAPON SOLD DE 3/4 SCH 40 | 8 | 75 | TEE 75 SCH 40 | 1 |
| 56 | BUJE SOLD. PRESION 3/4 X 1/2 | 12 | 66 | TEE PRESION 3/4x1/2 SCH 40 | 2 | 76 | CODO 45 X 1/2" SCH 40 | 12 |
| 57 | BUJE SOLD. PRESION 1" X 3/4 | 12 | 67 | UNION 1" SCH 40 | 4 | | | |
| 58 | ADAPT. HEMBRA 1/2 SCH 40 | 8 | 68 | UNION PRESION 1/2 | 12 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Clasificación y características de las máquinas inyectoras

Durante el desarrollo de este trabajo la empresa tomó la decisión de desincorporar una de estas máquinas debido a su antigüedad y el nivel de desgaste que presentaba.

A continuación se presentan las máquinas operativas en el área de inyección, sus características y clasificación según la capacidad de masa de inyección por ciclo, esto es, la cantidad de material que puede ser inyectado dentro del molde tomando en cuenta las cavidades de las piezas y los canales que conducen el material hacia las cavidades.

4.3.1 Menores o iguales a 120 gramos de inyección por ciclo

Tabla 7

Grupo #1 de máquinas inyectoras.

| Inyectoras (N°) | Fabricante | Capacidad Real (Kg/Hr) | Modelo |
|-----------------|------------------|------------------------|-------------|
| 09 | ECKERT & ZIEGLER | 5,0 | MONOMAT 135 |

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Entre 120 y 300 gramos de inyección por ciclo

Tabla 8

Grupo #2 de máquinas inyectoras.

| Inyectoras (N°) | Fabricante | Capacidad Real (Kg/Hr) | Modelo |
|-----------------|------------------|------------------------|--------------|
| 01 | BATTENFELD | 10,6 | FC-2100/1000 |
| 02 | BATTENFELD | 11,3 | FC-2100/1000 |
| 04 | NEGRI-BOSSI | 12,3 | NB-210 |
| 07 | CINCINATTI | 10,2 | VT-220-20 |
| 08 | ECKERT & ZIEGLER | 9,8 | MONOMAT 265 |
| 15 | SANDRETTO | 14,7 | SD-150 |
| 16 | SANDRETTO | 14,7 | SD-200 |
| 17 | SANDRETTO | 7,5 | SD-200 |
| 19 | ENGEL | 7,7 | 150HL |
| 20 | ENGEL | 7,2 | 150HL |

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Entre 300 y 750 gramos de inyección por ciclo

Tabla 9

Grupo #3 de máquinas inyectoras.

| Inyectoras (N°) | Fabricante | Capacidad Real (Kg/Hr) | Modelo |
|-----------------|------------|------------------------|---------|
| 11 | HAITTIAN | 10,8 | HTX-200 |
| 12 | HAITTIAN | 12,8 | HTX-200 |
| 14 | ENGEL | 16,6 | EG-150 |

Fuente: Elaboración propia.

4.3.4 Mayores o iguales a 750 gramos de inyección por ciclo

Tabla 10

Grupo #4 de máquinas inyectoras.

| Inyectoras (N°) | Fabricante | Capacidad Real (Kg/Hr) | Modelo |
|-----------------|-------------|------------------------|-----------|
| 5 | NEGRI-BOSSI | 17,5 | NB-300 |
| 6 | CINCINATTI | 22,3 | VT-300-29 |
| 13 | HAITTIAN | 22,5 | HTX-450 |
| 18 | HAITTIAN | 18,7 | HTX-530 |
| 21 | HAITTIAN | 19,7 | SA4700 |
| 22 | HAITTIAN | 19,7 | SA4700 |
| 23 | HAITTIAN | 19,7 | SA4700 |
| 24 | HAITTIAN | 19,7 | SA4700 |

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Distribución de moldes en máquinas inyectoras

Cada uno de los 76 moldes posee una configuración específica con respecto a las máquinas inyectoras donde pueden ser utilizados. A continuación se presenta una matriz donde se muestran las posibles combinaciones entre máquinas y moldes operativos, así como la duración del ciclo de cada molde en cada máquina.

4.4.1 Distribución de moldes para accesorios de tuberías sanitarias en máquinas inyectoras

Tabla 11

Matriz de moldes para accesorios sanitarios Vs máquinas inyectoras.

| Molde | | | Máquinas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------------------|------------------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--|
| N° | Descripción | Ciclo Real (seg) | 01 | 02 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | | |
| 01 | CODO 110X45° | 85 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 02 | CAMP. 110 C | 74 | | | X | | X | X | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | | | | | |
| 03 | CAMP.50 C | 67 | | | X | | X | X | | | X | X | X | X | X | X | X | X | | | X | X | X | X | | |
| 04 | CAMP.75 C | 76 | | | X | | X | X | | | X | X | X | X | X | X | X | X | | | X | X | X | X | | |
| 05 | CODO 50X45° | 72 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 06 | CODO 75X45° | 85 | | | | | | | | | | | | | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 07 | CODO 110X90° | 88 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 08 | CODO 50X90° | 73 | | | | | | | | | | | X | X | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 09 | CODO75X90° | 85 | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 10 | CODO 160X45° | 134 | | | | X | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 11 | REXC110X50 | 85 | | | | | X | X | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 12 | R.EXC110X75 | 100 | X | X | | X | X | X | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 13 | REXC75X50 | 73 | X | X | X | | X | X | | | X | X | X | X | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 14 | TAP.SIM110 | 101 | | | X | | X | X | | | X | X | | | X | X | X | X | | | X | X | X | X | | |
| 15 | TAP.SIM50 | 79 | X | X | X | | X | X | | | X | X | X | X | X | X | X | X | | | X | X | X | X | | |
| 16 | TAP.SIM 75 | 67 | X | X | X | | X | X | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | | | | | |
| 17 | TAPA REGISTRO 110 | 82 | X | X | X | | X | X | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | | | | | |
| 18 | TAPA REGISTRO 50 | 67 | X | X | X | | X | X | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | | | | | |
| 19 | TAPA REGISTRO 75 | 110 | X | X | X | | X | X | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | | | | | |
| 20 | SIFON 135°x50 | 83 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 21 | TEE110X50 | 76 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 22 | TEE 110 x 75 C-E | 98 | | | | X | X | X | | | X | X | X | X | | | | X | | | X | X | X | X | | |
| 23 | TEE 110 | 89 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X | | |

(Continúa)

Tabla 11

Matriz de moldes para accesorios sanitarios Vs máquinas inyectoras. (Continuación)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------|-----|--|--|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|--|--|--|---|--|--|---|---|---|---|
| 24 | TEE DOBLE 50 C-E | 67 | | | X | | X | X | | | X | X | | X | | | | | | | | | | |
| 25 | TEE 50 | 98 | | | | X | X | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 26 | TEE 75X50 | 82 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 27 | TEE 75 C-E | 98 | | | X | | X | X | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 28 | YEE 110 C-E | 104 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 29 | YEE 110X50 | 85 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 30 | YEE 110X75 | 73 | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | |
| 31 | YEE 50 C-E | 92 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 32 | YEE 75X50 | 77 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 33 | YEE 75 C-E | 104 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 34 | DOBLE YEE 110 | 98 | | | | | X | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Distribución de moldes para accesorios de electricidad/infraestructura en máquinas inyectoras

Tabla 12

Matriz de moldes para accesorios de electricidad e infraestructura Vs máquinas inyectoras.

| Molde | | | Máquinas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------------------|------------------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| N° | Descripción | Ciclo Real (seg) | 01 | 02 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 35 | SILLA 160X315 mm Novafort | 183 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | | | | |
| 36 | ADAPTADOR TERM. 1/2 | 62 | | | X | | | X | | | X | X | | | X | X | X | | X | X | | | | |
| 37 | ADAPTADOR TERM. 3/4 | 73 | | | X | | | X | | | X | X | | | X | X | X | | X | X | | | | |
| 38 | CAJA DOBLE | 79 | | | | | X | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |

(Continúa)

Tabla 12

Matriz de moldes para accesorios de electricidad e infraestructura Vs máquinas inyectoras. (Continuación)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-------------------------------|-----|---|---|---|---|---|---|--|--|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 39 | CAJA OCTAGONAL | 79 | | | | | X | | | | | | | X | | | | X | | | X | X | X | X |
| 40 | CAJA SENCILLA | 88 | | | | | X | | | | | | | X | | | | X | | | X | X | X | X |
| 41 | TAPA CAJA DOBLE | 67 | X | X | X | | | X | | | X | X | | X | X | X | X | | X | X | | | | |
| 42 | UNION CONDUIT 1/2 | 67 | | | X | | | | | | X | X | | | X | X | X | | X | X | | | | |
| 43 | CODO 160X45° Novafort JAN. | 134 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | X | X | X | X |
| 44 | SILLA 160 X 200mm Novafort | 135 | | | | | | | | | | | | X | | | | X | | | X | X | X | X |
| 45 | CODO 160X45° Novafort C-E | 134 | | | | X | | | | | | | | X | | | | X | | | X | X | X | X |
| 46 | TUERCA ADAPTADOR TERM. 1/2 | 81 | | | | | | | | | X | X | | | | | | | X | X | | | | |
| 47 | TUERCA ADAPTADOR TERM. 3/4 | 81 | | | | | | | | | X | X | | | | | | | X | X | | | | |
| 48 | SILLA 160 X 250mm Novafort | 146 | | | | | | | | | | | | X | | | | X | | | X | X | X | X |

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3 Distribución de moldes para accesorios de tuberías de agua fría en máquinas inyectoras

Tabla 13

Matriz de moldes para accesorios de agua fría Vs máquinas inyectoras.

| Molde | | | Máquinas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---------------------|------------------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| N° | Descripción | Ciclo Real (seg) | 01 | 02 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 49 | ADAPT. MACHO 1" | 57 | | | | | | | | | | | | X | | | X | | | | | | | |
| 50 | CODO 90 x 1" SCH 40 | 98 | | | | | | X | | | X | X | X | | | | | | | | | | | |

(Continúa)

Tabla 13

Matriz de moldes para accesorios de agua fría Vs máquinas inyectoras. (Continuación)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------------------------|-----|---|---|---|--|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 51 | CODO 90 x 1 ½" SCH 40 | 100 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 52 | CODO 90 x 1/2 " SCH 40 | 76 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 53 | CODO 90 x 3/4" SCH 40 | 79 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 54 | ADAPT. MACHO 1/2" | 73 | | | X | | | X | | | X | X | | X | X | X | X | | X | X | | | | |
| 55 | ADAPT. MACHO 3/4" | 73 | | | X | | | X | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | | | |
| 56 | BUJE SOLD. PRESION | 67 | | | X | | | X | | X | X | X | | | X | X | X | | X | X | | | | |
| 57 | BUJE SOLD. PRESION 1" | 67 | | | X | | | X | | X | X | X | | | X | X | X | | X | X | | | | |
| 58 | ADAPT. HEMBRA 1/2 | 74 | | | X | | | | | | X | X | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 59 | ADAPT. HEMBRA 3/4 | 81 | | | X | | | | | | X | X | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 60 | TEE 1" SCH 40 | 88 | X | X | X | | | X | | | X | X | | X | | | | | | | | | | |
| 61 | TEE PRESION 1/2 | 65 | | | X | | | X | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | | | |
| 62 | TAPON ROSC. 1/2 SCH | 79 | | | X | | | X | | | X | X | X | X | | | | X | | | X | X | X | X |
| 63 | TAPON SOLD. 1/2 SCH | 73 | | X | X | | X | X | | | X | X | X | | X | X | X | | X | X | X | X | X | X |
| 64 | TEE PRESION 3/4 SCH | 120 | | | X | | X | X | | | X | X | X | X | | X | X | | | | X | X | X | X |
| 65 | TAPON SOLD DE 3/4 SCH | 67 | | X | X | | X | X | | | X | X | X | X | X | X | X | | | | X | X | X | X |
| 66 | TEE PRESION 3/4x1/2 | 78 | | | X | | | | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | | | |
| 67 | UNION 1" SCH 40 | 71 | | | X | | | | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | | | |
| 68 | UNION PRESION 1/2 | 67 | | X | X | | | | | | X | X | | | | | X | | | | | | | |
| 69 | UNION 3/4" SCH 40 | 77 | | X | X | | | | | | X | X | | X | X | X | X | | | | | | | |
| 70 | CODO 110x45 SCH 40 | 140 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 71 | CODO 110x90 SCH 40 | 140 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 72 | CODO 75x45 SCH 40 | 116 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 73 | TEE 1 1/2" SCH 40 | 73 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 74 | TEE 110 SCH 40 | 109 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 75 | TEE 75 SCH 40 | 109 | | | | | | | | | | | X | | | | | X | | | X | X | X | X |
| 76 | CODO 45 X 1/2" SCH 40 | 79 | | | | | | | | | | | X | | | | | | | | X | X | X | X |

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Planificación y programación de la producción en el área de inyección

Actualmente el proceso de planificación y programación de la producción toma en cuenta los siguientes datos y parámetros:

- Las ventas mensuales de producto terminado.
- Las órdenes de clientes.
- Los inventarios de producto terminado.
- Stock de seguridad de 30 días para todos los productos.
- Lotes mínimos de producción de 3 días para todos los productos.
- Tiempo disponible de producción por máquina.

La obtención de las cantidades de producto requerido (planificación) y la asignación de moldes de piezas de PVC a máquinas inyectoras (programación) se realiza como se muestra a continuación:

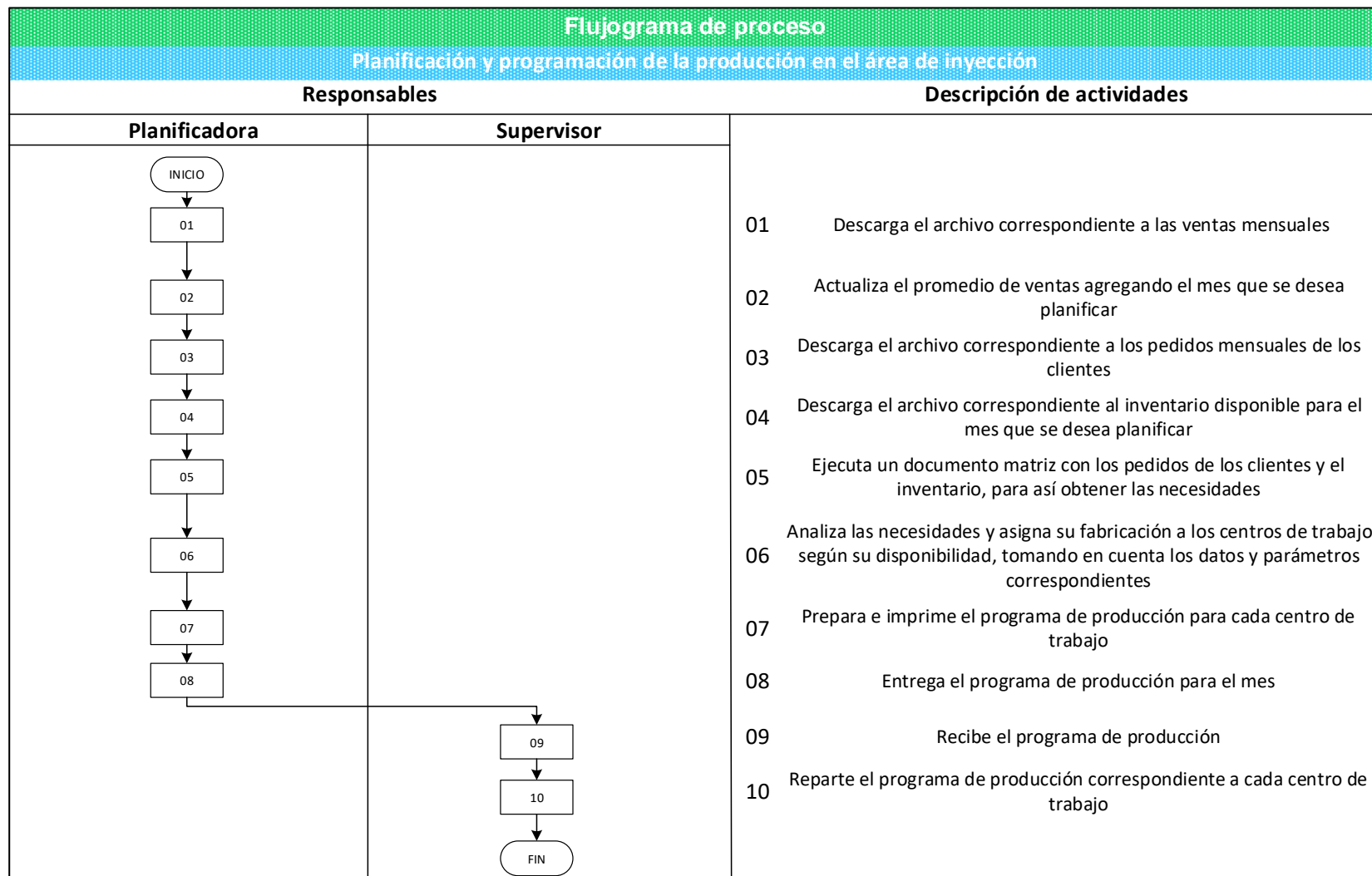


Figura 19. Flujograma del proceso de planificación y programación de la producción en el área de inyección.

Fuente: PAVCO de Venezuela S.A.-15

CAPÍTULO V

SISTEMA PROPUESTO PARA LA PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

5.1 Información necesaria para la planificación y programación de la producción

Para la planificación y programación de la producción de los productos de la empresa se requieren los siguientes datos:

Tabla 14

Datos necesarios para el sistema de planificación y programación de la producción.

| Datos | Descripción |
|--------------------------------------|--|
| Moldes operativos | Cantidad de moldes disponibles para la producción de piezas de PVC. |
| Cavidades | Se refiere a la cantidad de piezas de PVC que puede fabricar un molde por ciclo. |
| Máquinas operativas | Cantidad de máquinas disponibles para la producción de piezas de PVC. |
| Disponibilidad de las máquinas | Se refiere al tiempo disponible por máquina para la producción de piezas de PVC. |
| Compatibilidad de moldes en máquinas | Se refiere a la posibilidad que tiene un molde de piezas de PVC para operar en una máquina inyectora. |
| Ciclo real | Se refiere al tiempo de fabricación por ciclo, medido en segundos y en condiciones reales de operatividad. |
| Ventas de productos | Se refiere a las ventas (en unidades) mensuales de piezas de PVC. |

(Continúa)

Tabla 14

*Datos necesarios para el sistema de planificación y programación de la producción.
(Continuación)*

| | |
|-----------------------------|---|
| Inventario | Se refiere a la existencia de piezas de PVC en el almacén de producto terminado. |
| Inventario de seguridad | Se refiere a la existencia de piezas de PVC que debe mantenerse en el almacén de producto terminado como reserva ante variaciones de demanda. |
| Lotes mínimos de producción | Se refiere a la cantidad mínima de piezas de PVC que debe fabricar un molde en una máquina determinada. |
| Lotes máximos de producción | Se refiere a la cantidad de piezas de PVC que pueden fabricarse colocando un molde en una máquina durante todo el tiempo disponible. |

Fuente: Elaboración propia.

La utilización de los datos presentados en la Tabla 14 será descrita en la construcción del modelo.

5.2 Selección de técnicas para la planificación y programación de la producción

El sistema debe indicar los requerimientos de producción en unidades, tomando en cuenta el inventario inicial, el pronóstico de venta, el lote mínimo de producción y el inventario de seguridad, para un horizonte de planificación mensual. Todos estos factores sitúan al sistema en la fase de un plan maestro de producción.

La técnica de plan maestro de producción [11] será utilizada para la obtención de los requerimientos mensuales de producción.

La programación de la producción debe responder a la asignación de moldes de piezas de PVC en máquinas inyectoras de tal manera que se cumpla con los requerimientos de producción, los lotes mínimos de producción y un uso eficiente del tiempo de producción

disponible. Todos estos factores pueden ser representados mediante un modelo de programación matemático [25].

Existen diversas técnicas para el diseño de sistemas que permitan resolver problemas de asignación de recursos. Una de las técnicas existentes que puede ser considerada para diseñar este tipo de sistemas es la programación lineal entera [14], la cual será utilizada para el diseño del sistema propuesto.

5.3 Construcción del sistema de planificación y programación de la producción

El sistema se divide en dos fases: (5.3.1) Planificación de la producción y (5.3.2) Programación de la producción.

5.3.1 Fase 1. Planificación de la producción

Se determinarán los requerimientos de producción mensuales, esto es, unidades de producto a ser fabricadas, tomando en cuenta los siguientes datos y parámetros:

- Ventas de productos: Se realiza un pronóstico de media móvil simple a doce meses de los datos históricos de ventas, el cual indica las ventas esperadas para el próximo período de planificación. Estos valores serán considerados como la demanda de los productos y se calculan de la siguiente manera:

$$p_k = \frac{\sum_{n=1}^{12} v_{k-n}}{12}$$

Donde:

p_k : Pronóstico de ventas para el mes k

v_{k-n} : Dato histórico de venta del mes $k - n$

- Inventario de seguridad: Por políticas de la empresa el inventario de seguridad será de 30 días, de igual forma el sistema permite modificar dicho valor según las condiciones de ventas.

Los requerimientos de producción mensuales se calculan de la siguiente manera:

$$ii_k - p_k - is_k = r_k$$

Donde:

ii_k : Inventario inicial disponible del producto en el mes k

p_k : Pronóstico de ventas del producto para el mes k

is_k : Inventario de seguridad del producto para el mes k

r_k : Requerimiento de producción para el mes k

Si:

$r_k > 0$, entonces el inventario inicial disponible satisface la demanda y mantiene el inventario de seguridad requerido. No es necesario producir.

$r_k \leq 0$, entonces es necesario producir las unidades indicadas para satisfacer la demanda y mantener el inventario de seguridad requerido. En caso de que esto ocurra, el sistema no permitirá que la cantidad mínima a producir sea menor que el lote mínimo de producción establecido por la empresa para cada producto.

5.3.2 Fase 2. Programación de la producción

Las preguntas fundamentales que se desean responder son: ¿Cómo se puede cumplir con la demanda de los productos?, ¿Cuánto tiempo al mes serán utilizadas las máquinas para satisfacer la demanda de los productos?, ¿Cuáles moldes deben asignarse a cuáles máquinas?, basándonos en estas interrogantes tenemos:

- Variables de decisión: Las variables de decisión asociadas a este trabajo se declaran de la siguiente manera:

x_{ij} : Cantidad de piezas a producir con el molde i en la máquina j .

$i = \{01, 02, 03, \dots, 76\}$ $j = \{01, 02, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 11, \dots, 25\}$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si se fabrica con el molde } i \text{ en la máquina } j \\ 0 & \text{Cualquier otro caso} \end{cases}$$

- Función objetivo: Para dar respuesta a las preguntas fundamentales y cumplir con los requerimientos de la empresa la función objetivo es MINIMIZAR el tiempo total de producción, esto es, el tiempo que tardan todas las máquinas disponibles en fabricar los requerimientos de producción. La función objetivo se describe de la siguiente manera:

$$\text{MINIMIZAR: } Z = \sum x_{ij} \cdot t_{ij}$$

Donde:

t_{ij} : Tiempo por unidad fabricada con el molde i en la máquina j en segundos

- Restricciones: Existen cinco tipos de restricciones para este modelo.

Restricciones de requerimiento mensual de productos: Se refieren a la cantidad de producto que debe ser fabricado para satisfacer la demanda y se describe de la siguiente manera:

$$\sum x_{ij} \geq d_i$$

Donde:

d_i : Demanda del producto asociado al molde i .

Restricciones de capacidad mensual: Se refieren al tiempo disponible que poseen las máquinas inyectoras para la fabricación de los productos requeridos y se describe de la siguiente manera:

$$\sum x_{ij} \cdot t_{ij} \geq k_j$$

Donde:

k_j : Tiempo mensual disponible de la máquina j en segundos.

Restricciones de lote mínimo de producción [30]: Se refieren a la selección de máquinas inyectoras para la fabricación del producto requerido, a su vez establece que la cantidad de producto fabricado en la máquina o máquinas escogidas sea por lo menos el lote mínimo de producción. Se describe de la siguiente manera:

$$x_{ij} \leq lmax_i \cdot y_{ij}$$

$$lmin_i - x_{ij} \leq lmax_{ij} (1 - y_{ij})$$

Donde:

$lmax_i$: Lote máximo de producción del producto asociado al molde i .

y_{ij} : $\begin{cases} 1 & \text{Si se fabrica con el molde } i \text{ en la máquina } j \\ 0 & \text{Cualquier otro caso} \end{cases}$

$lmin_i$: Lote mínimo de producción del producto asociado al molde i .

Restricciones de dependencia: Se refiere a que un molde de piezas de PVC puede fabricar más de un producto. Esto solo ocurre con los productos “CODO 160X45°”, “CODO 160X45° NOVAFORT JAN.” y “CODO 160X45° NOVAFORT C-E.” y la restricción se describe de la siguiente manera:

$$\sum x_{ij} \cdot t_{ij} \geq m_i$$

Donde:

m_i : Tiempo de utilización mensual disponible para el molde i .

Restricciones lógicas: Se refieren a los valores que pueden tomar las variables de decisión y se describen a continuación:

$$x_{ij} \geq 0 \text{ Entera}$$

$$y_{ij} = 0, 1$$

Para conocer si un programa de producción es infactible se incorporó al modelo una máquina “ficticia”, la cual absorbe las cantidades de producto que no se pueden producir con las máquinas existentes. El tiempo de ciclo de los moldes en esta máquina es mucho mayor que en las máquinas existentes, de esta manera el algoritmo de programación lineal entera solo recurrirá a la producción en dicha máquina cuando no se tenga disponibilidad para producir en alguna de las máquinas existentes.

5.4 Validación del sistema propuesto

Con el propósito de validar el sistema propuesto de planificación y programación de la producción en el área de inyección, se analizan dos escenarios: (5.4.1) Planificación y programación de la producción para el mes de septiembre de 2015 y (5.4.2) Planificación y programación de la producción para un incremento en los requerimientos de producción correspondientes al mes de septiembre de 2015.

5.4.1 Planificación y programación de la producción para el mes de septiembre de 2015.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 15

Resultados de validación para septiembre de 2015.

| Máquina inyectora | Producto a fabricar | Piezas a fabricar (Unids) | Tiempo de fabricación (Hrs) |
|-------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 01 | - | - | - |
| 02 | 17 68 | 5.300 132.353 | 121 205 |
| 04 | 60 64 | 5.891 53.196 | 72 296 |
| 05 | 10 25 | 1.935 20.802 | 72 142 |
| 06 | 40 | 23.486 | 144 |

(Continúa)

Tabla 15

Resultados de validación para septiembre de 2015. (Continuación)

| Máquina inyectora | Producto a fabricar | Piezas a fabricar (Unids) | Tiempo de fabricación (Hrs) |
|-------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 07 | 14 | 5.681 | 80 |
| | 16 | 15.475 | 72 |
| | 50 | 6.336 | 86 |
| 08 | 30 | 3.706 | 75 |
| 09 | - | - | - |
| 11 | 19 | 4.713 | 72 |
| | 22 | 5.290 | 72 |
| | 24 | 3.869 | 72 |
| | 47 | 92.080 | 173 |
| | 69 | 47.138 | 126 |
| 12 | 13 | 10.116 | 103 |
| 13 | 27 | 5.290 | 72 |
| | 65 | 30.950 | 72 |
| 14 | 08 | 91.409 | 463 |
| 15 | 02 | 7.006 | 72 |
| 16 | 56 | 46.424 | 72 |
| 17 | 18 | 7.738 | 72 |
| | 37 | 91.550 | 155 |
| | 57 | 46.424 | 72 |
| | 61 | 94.564 | 142 |
| 18 | 21 | 6.822 | 72 |
| | 28 | 11.084 | 160 |
| | 35 | 1.417 | 72 |
| | 38 | 8.876 | 195 |
| | 71 | 300 | 12 |
| | 74 | 300 | 9 |
| 19 | - | - | - |
| 20 | - | - | - |
| 21 | 05 | 58.847 | 294 |
| | 06 | 6.099 | 72 |
| | 53 | 52.497 | 72 |
| | 62 | 26.249 | 72 |
| 22 | 31 | 15.411 | 197 |
| | 52 | 177.245 | 234 |
| | 72 | 300 | 5 |
| | 73 | 300 | 3 |
| | 76 | 48.155 | 88 |
| 23 | 09 | 12.186 | 144 |
| | 23 | 11.426 | 282 |
| | 40 | 16.635 | 102 |
| 24 | 07 | 21.496 | 263 |
| | 20 | 23.035 | 133 |
| | 26 | 6.322 | 72 |
| | 75 | 300 | 9 |
| 25 | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia.

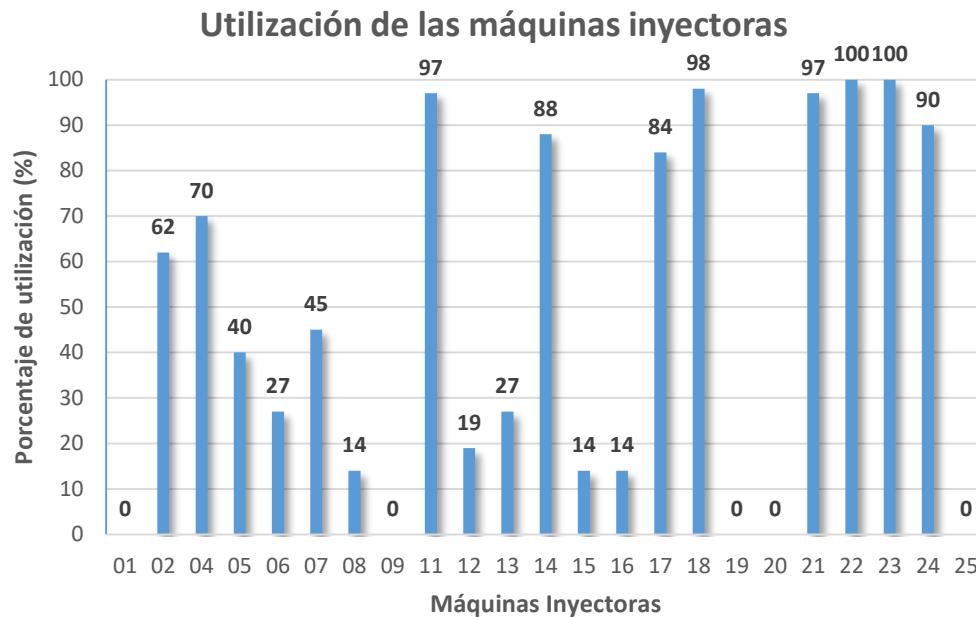


Figura 20. Utilización de las máquinas para el mes de septiembre de 2015.
Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados generados para el mes de septiembre de 2015, se aprecia como el sistema asigna moldes de piezas de PVC a máquinas inyectoras que tengan disponibilidad para cumplir con los requerimientos mensuales de productos. Las cantidades a ser fabricadas cumplen con la política de lotes mínimos de producción y las máquinas existentes en el área de inyección son capaces de satisfacer la demanda para ese mes, se observa que las máquinas 01, 09, 19 y 20 no son utilizadas para fabricar piezas con ningún molde.

5.4.2 Planificación y programación de la producción para un incremento en los requerimientos de producción del mes de septiembre de 2015.

En este caso se desea determinar hasta qué punto se puede satisfacer un crecimiento en la demanda del mes de septiembre de 2015, para ello se realizó un incremento porcentual en la demanda hasta lograr que la máquina ficticia entrara en funcionamiento, lo que indica que se ha superado el máximo volumen de producción para

un período específico. La máquina ficticia entró en funcionamiento al alcanzar un 12,1% de incremento en la demanda.

A continuación se presentan los resultados obtenidos:

Tabla 16

Resultados de validación para septiembre de 2015 con un incremento del 12,1% en los requerimientos de producción.

| Máquina inyectora | Producto a fabricar | Piezas a fabricar (Unids) | Tiempo de fabricación (Hrs) |
|-------------------|----------------------------------|--|----------------------------------|
| 01 | - | - | - |
| 02 | 17 68 | 5.941 148.367 | 135 230 |
| 04 | 60 64 | 6.604 59.632 | 81 331 |
| 05 | 10 25 | 2.170 23.319 | 81 159 |
| 06 | 40 | 44.976 | 275 |
| 07 | 14 16 50 | 6.369 17.348 7.102 | 89 81 97 |
| 08 | 30 | 4.154 | 84 |
| 09 | - | - | - |
| 11 | 22 24 47 69 | 5.930 4.338 103.222 52.842 | 81 81 194 141 |
| 12 | 13 | 11.340 | 115 |
| 13 | 21 27 31 62 65 71 | 7.648 5.930 5.635 29.426 34.695 337 | 81 81 72 81 81 13 |
| 14 | 08 | 102.469 | 519 |
| 15 | 02 19 | 7.854 5.284 | 81 81 |
| 16 | 56 | 52.042 | 81 |
| 17 | 18 37 57 61 | 8.675 102.628 52.042 106.007 | 81 173 81 160 |
| 18 | 28 35 38 | 12.425 1.589 9.950 | 179 81 218 |
| 19 | - | - | - |
| 20 | - | - | - |

(Continúa)

Tabla 16

Resultados de validación para septiembre de 2015 con un incremento del 12,1% en los requerimientos de producción. (Continuación)

| Máquina inyectora | Producto a fabricar | Piezas a fabricar (Unids) | Tiempo de fabricación (Hrs) |
|-------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 21 | 05 | 65.968 | 330 |
| | 06 | 6.837 | 81 |
| | 53 | 58.850 | 81 |
| 22 | 31 | 11.641 | 149 |
| | 52 | 198.692 | 262 |
| | 72 | 337 | 5 |
| | 73 | 337 | 3 |
| | 76 | 53.981 | 99 |
| 23 | 09 | 13.661 | 161 |
| | 23 | 12.809 | 317 |
| | 74 | 337 | 10 |
| 24 | 07 | 24.097 | 295 |
| | 20 | 25.822 | 149 |
| | 26 | 6.632 | 76 |
| | 75 | 301 | 9 |
| 25 | 26 | 455 | 52 |
| | 75 | 36 | 11 |

Fuente: Elaboración propia.

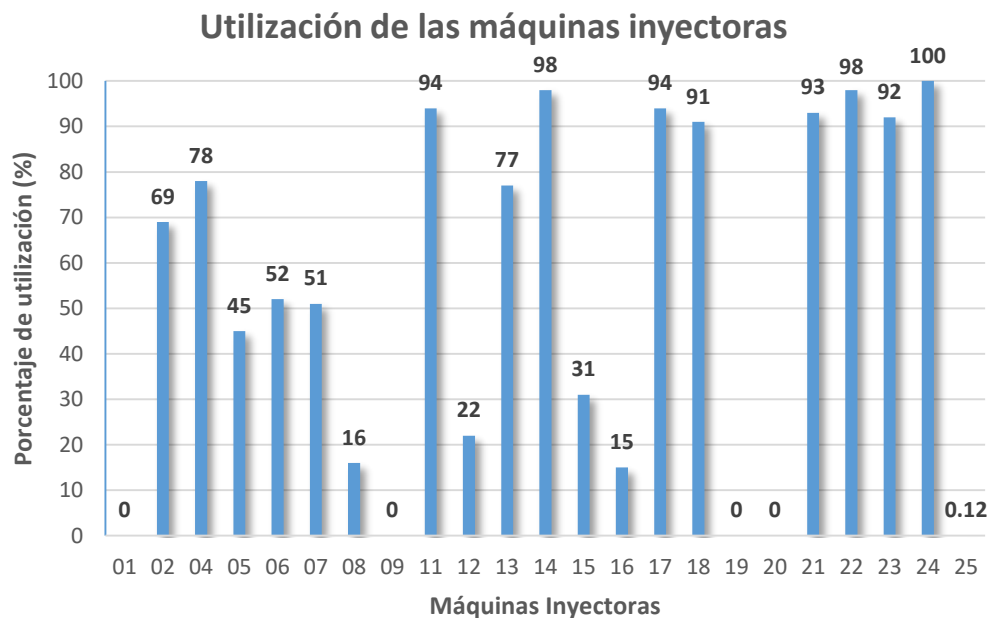


Figura 21. Utilización de las máquinas para el mes de septiembre de 2015 con un incremento del 12,1% en los requerimientos de producción.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21, se observa como el sistema propuesto utiliza la máquina ficticia como recurso para la fabricación de piezas que no han podido producirse en el resto de las máquinas debido a que se ha agotado la capacidad de las mismas o aquellas máquinas que aún se encuentran disponibles no son compatibles con el molde asociado al producto que se requiere.

5.4.3 Indicadores de desempeño

5.4.3.1 Producción de piezas de PVC

Con los datos proporcionados por la empresa, correspondientes al mes de septiembre de 2015, se obtuvieron los siguientes resultados:

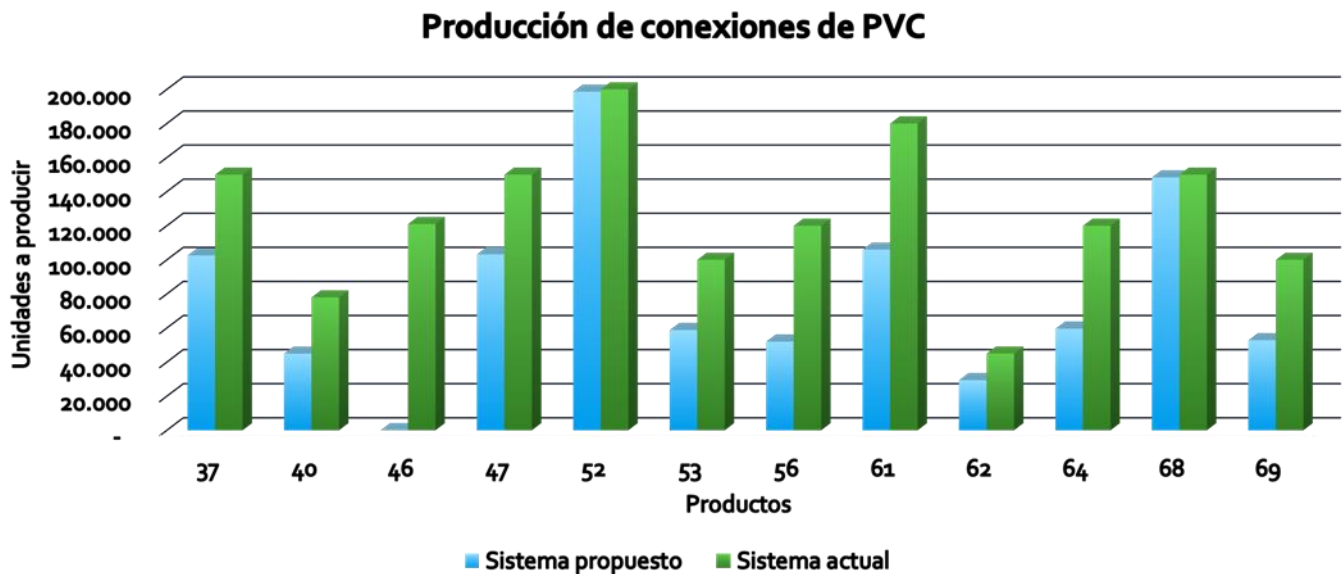


Figura 22. Producción de piezas de PVC, sistema actual Vs sistema propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 22 se observa como el sistema propuesto ajusta las cantidades de producto que debe ser fabricado, cumpliendo con las políticas y requerimientos de la empresa. Por otra parte, el sistema actual también cumple con estos requerimientos, pero incurre en una sobreutilización de las máquinas generando un exceso de inventario, este tiempo de sobreutilización puede ser aprovechado para la fabricación

de otros productos que si lo ameriten o inclusive para el mantenimiento de máquinas o moldes.

5.4.3.2 Utilización de las máquinas

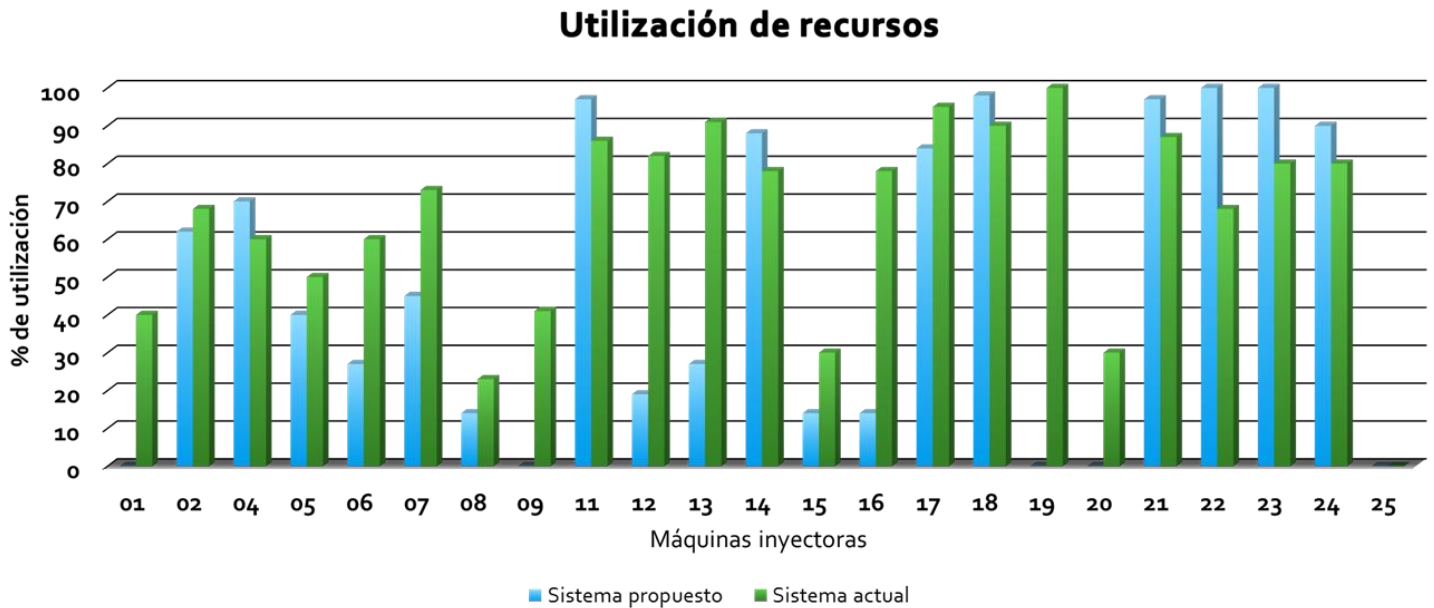


Figura 23. Utilización de las máquinas inyectoras, sistema actual Vs sistema propuesto.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 23 se observa que con el sistema propuesto la utilización de las máquinas varía con respecto al sistema actual, en algunos casos como el de la máquina 12, su porcentaje de utilización es menor en comparación con el sistema actual, y en otros casos como el de la máquina 22, su porcentaje de utilización es mayor en comparación con el sistema actual.

Para totalizar la información presentada en la figura 23, a continuación se presenta el siguiente gráfico comparativo:

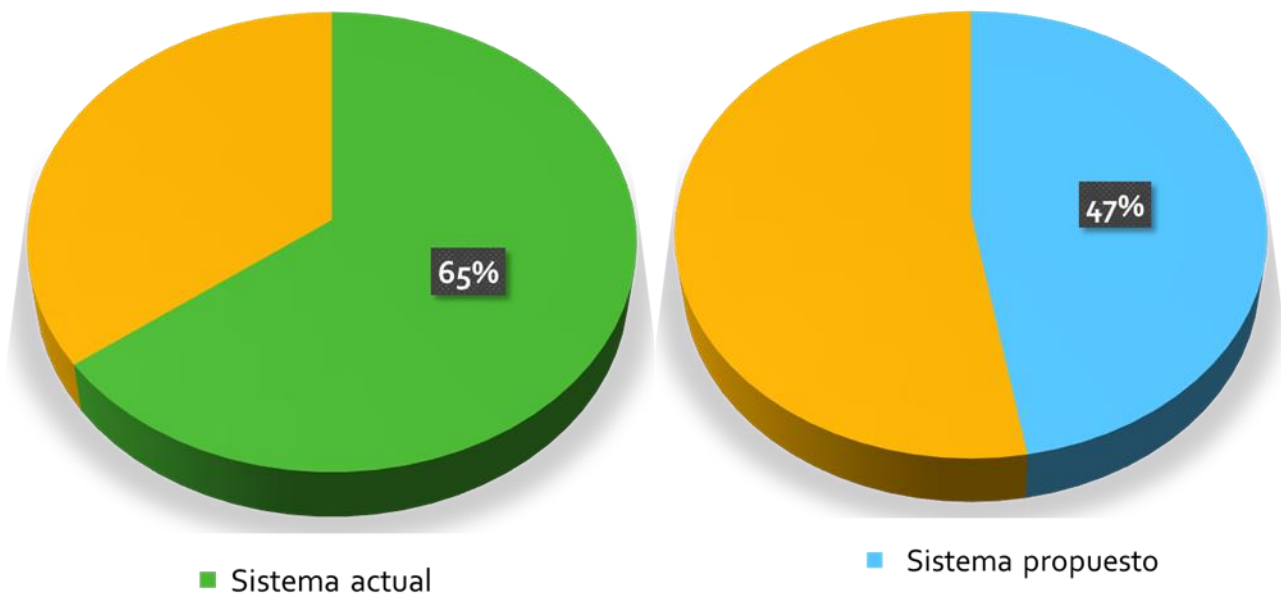


Figura 24. Utilización total de las máquinas inyectoras, sistema actual Vs sistema propuesto.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 24 Se observa como el sistema actual utiliza el 65% de las máquinas disponibles para satisfacer los requerimientos de producción del mes de septiembre de 2015, mientras que el sistema propuesto utiliza el 47% de las máquinas e igualmente satisface los requerimientos de producción del período, lo que representa una disminución en la utilización de las máquinas del 18%.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

1. A partir de la caracterización del proceso productivo se identificó lo siguiente:

- Las partes vinculadas al proceso de inyección, cinco (5) proveedores y un (1) cliente y los elementos vinculados al proceso, cinco (5) entradas y una (1) salida. Las partes y elementos del proceso de inyección permiten conocer el proceso de manera general, desde que los proveedores despachan la materia prima e insumos requeridos hasta que el cliente obtiene el producto terminado.

- El proceso de inyección se lleva a cabo en una secuencia de dieciocho (18) actividades, ejecutadas por seis (6) responsables.

- La empresa cuenta con setenta y seis (76) moldes de piezas de PVC y veintidós (22) máquinas inyectoras para la fabricación de accesorios de tuberías sanitarias, de agua fría y de electricidad e infraestructura.

- Las posibles combinaciones operativas entre moldes de piezas de PVC y máquinas inyectoras, incluyendo el tiempo de ciclo real de fabricación de cada molde.

Además, se revisó el sistema actual de planificación y programación de la producción y se observaron casos de inconsistencia en cuanto a las cantidades de producto planificado para ser fabricado, generando exceso y falta de inventario, lo cual perjudica la respuesta que se les brinda a los clientes.

2. Los datos necesarios para la planificación y programación de la producción en el área de inyección son:

- La cantidad de moldes operativos, número de cavidades y tiempo de ciclo real.
- La cantidad de máquinas operativas y su disponibilidad.
- La compatibilidad entre moldes de piezas de PVC y máquinas inyectoras.

- Ventas de productos.
- Inventario disponible.
- Inventario de seguridad.
- Lotes mínimos de producción.

3. Las técnicas utilizadas para la planificación y programación de la producción fueron:

- PMP (Plan Maestro de Producción)

Se seleccionó la técnica de PMP para la planificación de la producción ya que se requieren datos de ventas e inventario para su elaboración y se ejecuta para un horizonte de planificación mensual, obteniendo las cantidades de productos a fabricar en dicho período.

- Programación lineal entera

Se seleccionó la técnica de programación lineal entera para la programación de la producción, ya que al tratarse de un problema de asignación de recursos se considera como la primera alternativa por ser la técnica más conocida y analizada en programación matemática.

4. Con base en las técnicas seleccionadas, se desarrolló un sistema de planificación y programación de la producción el cual indica las cantidades de productos a fabricar y genera un arreglo entre moldes de piezas de PVC y máquinas inyectoras que satisface estos requerimientos de productos en el menor tiempo de operación.

5. Se comprobó el funcionamiento del sistema propuesto a través del uso de datos correspondientes al mes de septiembre de 2015, a partir de los resultados generados por el sistema se observó que este cumple con los requerimientos de producción, la política de lotes mínimos, capacidad disponible de las máquinas inyectoras y los niveles de inventario.

Se determinó que se puede satisfacer hasta un 12% de incremento en la demanda del mes de septiembre de 2015.

6. Se elaboró un manual de funcionamiento que permite a los usuarios manejar y actualizar el sistema propuesto. El manual está estructurado de la siguiente manera:

- Generación del PMP.
- Ejecución del modelo propuesto.
- Actualizaciones del sistema.

6.2 Recomendaciones

- Mantener actualizado el sistema de planificación y programación de la producción para garantizar que los resultados indicados sean correctos.
 - Ampliar el modelo mediante la incorporación de una fase de secuenciación que establezca prioridades de producción tomando en cuenta los siguientes criterios:
 - Tiempo de procesamiento más corto.
 - Tiempo de procesamiento más largo.
 - Menor nivel de inventario.
 - Revisar y analizar las políticas actuales de la empresa con el fin de realizar propuestas de mejora.
 - Analizar otros métodos de pronósticos que puedan ser aplicados a la sección del cálculo de la demanda.
 - Estudiar la posibilidad de sustituir los datos constantes del modelo por modelos probabilísticos.
 - Utilizar técnicas de programación de metas, simulación y programación estocástica para el desarrollo del modelo.
 - Mejorar la comunicación entre los departamentos de mantenimiento y planificación, con el fin de que se notifique con anticipación cuando un molde o una máquina necesite mantenimiento y de esta manera realizar los ajustes necesarios en el sistema propuesto en cuanto a la fabricación de productos, con el fin de cubrir el tiempo que los equipos estén fuera de operación.
 - En caso de que las máquinas existentes no puedan satisfacer los requerimientos de producción, establecer un plan maestro de producción para un horizonte de planificación
-

bimensual. Si esta situación es concurrente, evaluar la posibilidad de invertir en nuevas máquinas inyectoras y/o moldes de piezas de PVC.

- Migrar el sistema propuesto a un software especializado, con la finalidad de mejorar la interfaz, facilitar las actualizaciones y disminuir el tiempo de generación de resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Mexichem S.A.B de C.V. (2016). *PAVCO, Tuberías y Conexiones*. Obtenido de Pavco: http://www.pavco.com.ve/?pagerd_yjrqqjfhey5xg808uxr
- [2] Salazar, B. (2012). *Producción*. Obtenido de Ingeniería industrial online: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/>
- [3] Company The Dow Chemical. (1995). *Proceso de moldeo por inyección*. Obtenido de Polietileno Latinoamerica: <http://www.dow.com/polyethylene/la/es/fab/molding/improcess.htm>
- [4] Ojeda, M. (2011). *Etapas del proceso de inyección*. Obtenido de Tecnología de los plásticos: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html>
- [5] Salazar, B. (2012). *Enfoque estratégico de los sistemas productivos*. Obtenido de Ingeniería industrial online: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/enfoque-estrat%C3%A9gico-de-los-sistemas-productivos/>
- [6] Castellanos, C. (2013). *¿Qué es la planificación de la producción?* Obtenido de Grandes Pymes: <http://www.grandespymes.com.ar/2011/01/21/que-es-la-planificacion-de-la-produccion/>
- [7] Salazar, B. (2012). *Planeación agregada*. Obtenido de Ingeniería industrial online: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/planeaci%C3%B3n-agregada/>
- [8] Castro, W. (2003). *Proceso de planificación, programación y control de la producción*. Obtenido de Gestipolis: <http://www.gestipolis.com/proceso-de-planificacion-programacion-y-control-de-la-produccion/>
-

- [9] Dominguez, M. (1995). *Fases que componen el proceso de planificación y control de la producción*. Obtenido de Gestipolis: <http://www.gestipolis.com/proceso-de-planificacion-programacion-y-control-de-la-produccion/>
- [10] Universidad de Concepción de Chile. (2011). *Planificación estratégica*. Obtenido de Dirección de estudios estratégicos: <http://www.dee.udec.cl/node/33>
- [11] Salazar, B. (2012). *Plan maestro de producción - MPS*. Obtenido de Ingeniería industrial online: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/plan-maestro-de-producci%C3%B3n-mps/>
- [12] Salazar, B. (2012). *Programación a corto plazo*. Obtenido de Ingeniería industrial online: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/producci%C3%B3n/programaci%C3%B3n-a-corto-plazo/>
- [13] Rodríguez, J. Steegmann, C. (2013). *Moldelos matemáticos*. UOC.
- [14] Salazar, B. (2012). *Programación lineal*. Obtenido de Ingeniería Industrial online: <http://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/programaci%C3%B3n-lineal/>
- [15] Taha, H. (1991). *Investigación de Operaciones*. México: Alfaomega.
- [16] Mateo, P. Lahoz, D. (2009). *Programación lineal entera*.
- [17] Diccionario de arquitectura y construcción. (2016). *Definición de goma y conceptos relacionados*. Obtenido de Diccionario de arquitectura y construcción: <http://www.parro.com.ar/definicion-de-goma>
- [18] Diccionario de arquitectura y construcción. (2016). *Definición de accesorio para tubería y conceptos relacionados*. Obtenido de Diccionario de arquitectura y construcción: <http://www.parro.com.ar/definicion-de-accesorio+para+tuber%EDa>
-

- [19] *Órdenes de producción*. (2008). Obtenido de Help SAP: http://help.sap.com/saphelp_byd1308/es/KTP/Software-Components/01200615320100003379/WEKTRA_for_Work_Centers/SCM/Ess/Ess_Con_ProdOrds.html
- [20] ASOVEN PVC. (2016). *¿Qué es el PVC?* Obtenido de Asociación ventanas PVC: <http://www.asoven.com/pvc-asoven.php>
- [21] *SAP R/3: Uno de los mejores ERP del mercado*. (2007). Obtenido de Informática hoy: <http://www.informatica-hoy.com.ar/sap/SAP-R3-Uno-de-los-mejores-ERP-del-mercado.php>
- [22] *Definición de solicitudes de pedido*. (2011). Obtenido de CVOSOFT: <http://www.cvosoftware.com/glosario-sap/sap-mm/solicitudes-de-pedido-975.html>
- [23] *Tolva*. (2016). Obtenido de WordReference: <http://www.wordreference.com/definicion/tolva>
- [24] *SIPOC DIAGRAM*. (2015). Obtenido de Manufactura inteligente: <http://www.manufacturainteligente.com/sipoc-diagram-identificar-causa-raiz/>
- [25] Tovar, A. Mota, A. (2007). *CPIMC un modelo de administración por procesos*. México: Panorama.
- [26] N, R. (2009). *Administración y dirección de las TIC*. España: MASTER.
- [27] Universidad Católica Andrés Bello. (2002). *Trabajo especial de grado en escuela de Ingeniería Industrial*. Caracas: UCAB.
- [28] Arias, F. (2006). *El proyecto de investigación*. Caracas: Texto, c.a.
- [29] Hurtado, J. (2000). *Metodología de la Investigación Holística*. Caracas: Fundación sypal.
- [30] Winston, W. (2005). *Investigación de Operaciones. Aplicaciones y algoritmos*. México: Thomson.
-

ANEXOS

ANEXO I

SISTEMA DE PLANIFICACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Anexo I. 1. Datos históricos de venta.

| PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------|--------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Histórico de Ventas | | | | | | | | | |
| N° | Código SAP | Producto | 2014 | | | | | | |
| | | | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio |
| 01 | 928081 | CODO 110X45' | 5.040 | 8.527 | 10.919 | 13.182 | 22.133 | 7.349 | 12.894 |
| 02 | 928096 | CAMP. 110 C | 7.120 | 8.000 | 6.080 | 7.346 | 5.520 | 7.797 | 10.827 |
| 03 | 928106 | CAMP.50 C | 20.998 | 22.800 | 17.399 | 39.000 | 8.991 | 18.002 | 16.800 |
| 04 | 928109 | CAMP.75 C | 1.500 | 3.500 | 1.500 | - | 2.750 | 4.468 | 1.000 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 2. Pronóstico de ventas.

| Pronóstico de Ventas | | | | | |
|----------------------|------------|--------------|-------|--------|------------|
| N° | Código SAP | Producto | 2015 | | |
| | | | Julio | Agosto | Septiembre |
| 01 | 928081 | CODO 110X45' | | | 13.648 |
| 02 | 928096 | CAMP. 110 C | | | 9.172 |
| 03 | 928106 | CAMP.50 C | | | 25.663 |
| 04 | 928109 | CAMP.75 C | | | 3.658 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 3. Datos de inventario inicial.

| PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN | | | | | |
|--------------------------------|------------|--------------|-------|--------|------------|
| Inventario Inicial | | | | | |
| N° | Código SAP | Producto | 2015 | | |
| | | | Julio | Agosto | Septiembre |
| 01 | 928081 | CODO 110X45' | | | 31.980 |
| 02 | 928096 | CAMP. 110 C | | | 15.053 |
| 03 | 928106 | CAMP.50 C | | | 52.789 |
| 04 | 928109 | CAMP.75 C | | | 11.996 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 4. Inventario inicial.

| Inventario de Seguridad | | | | | |
|-------------------------|------------|--------------|-------|--------|---------------|
| Reservas de seguridad | | | 1 | 100% | de las ventas |
| N° | Código SAP | Producto | 2014 | | |
| | | | Julio | Agosto | Septiembre |
| 01 | 928081 | CODO 110X45' | | | 13.648 |
| 02 | 928096 | CAMP. 110 C | | | 9.172 |
| 03 | 928106 | CAMP.50 C | | | 25.663 |
| 04 | 928109 | CAMP.75 C | | | 3.658 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 5. Requerimientos de producción.

| PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN | | | | | |
|--------------------------------|------------|--------------|-------|--------|------------|
| Requerimiento de Producción | | | | | |
| N° | Código SAP | Producto | 2015 | | |
| | | | Julio | Agosto | Septiembre |
| 01 | 928081 | CODO 110X45' | | | 4.685 |
| 02 | 928096 | CAMP. 110 C | | | -3.291 |
| 03 | 928106 | CAMP.50 C | | | 1.463 |
| 04 | 928109 | CAMP.75 C | | | 4.681 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 6. MPS.

| MPS | | | | | |
|-----|------------|--------------|-------|--------|------------|
| N° | Código SAP | Producto | 2015 | | |
| | | | Julio | Agosto | Septiembre |
| 01 | 928081 | CODO 110X45' | | | - |
| 02 | 928096 | CAMP. 110 C | | | 7.006 |
| 03 | 928106 | CAMP.50 C | | | - |
| 04 | 928109 | CAMP.75 C | | | - |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 7. Especificaciones operativas.

| PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN | | | Especificaciones Operativas | |
|---------------------------------|--------------|-----------|-----------------------------|------------------------------|
| Datos de Entrada para el Modelo | | | Moldes | |
| N° | Descripción | Cavidades | Ciclo máquinas reales (seg) | Ciclo máquina ficticia (seg) |
| 01 | CODO 110X45° | 2 | 85 | 850 |
| 02 | CAMP. 110 C | 2 | 74 | 740 |
| 03 | CAMP. 50 C | 8 | 67 | 670 |
| 04 | CAMP. 75 C | 4 | 76 | 760 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 8. Especificaciones de producción.

| Especificaciones de Producción | | |
|---------------------------------|--------------|------------------------|
| Moldes | | |
| PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN | | |
| Datos de Entrada para el Modelo | | |
| N° | Descripción | Lote mínimo (unidades) |
| 01 | CODO 110X45° | 6.099 |
| 02 | CAMP. 110 C | 7.006 |
| 03 | CAMP. 50 C | 30.950 |
| 04 | CAMP. 75 C | 13.643 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 9. Variables.

| PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Modelo Matemático | | | | | | | | |
| Variables | | | | | | | | |
| Máquina 01 | | | | | | | | |
| X1201 | X1301 | X1501 | X1601 | X1701 | X1801 | X1901 | X4101 | X6001 |
| 50,00 | 36,50 | 26,33 | 16,75 | 82,00 | 33,50 | 55,00 | 33,50 | 44,00 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Y1201 | Y1301 | Y1501 | Y1601 | Y1701 | Y1801 | Y1901 | Y4101 | Y6001 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 10. Función objetivo.

| Función Objetivo | | |
|---------------------------------|--|---------------|
| MINIMIZAR | | |
| Tiempo total de operación (seg) | | 21.580.573,40 |
| Tiempo total de operación (Hrs) | | 5.994,60 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 11. Restricciones, requerimiento mensual de productos.

| Restricciones | | | | | | | |
|------------------------------------|---|---|---|------|-------|----|-------|
| Requerimiento mensual de productos | | | | | | | |
| Producto 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | >= | - |
| Producto 2 | 0 | 0 | 0 | 7006 | 7.006 | >= | 7.006 |
| Producto 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | >= | - |
| Producto 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | >= | - |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 12. Restricciones, capacidad mensual.

| Capacidad mensual | | | | | | | |
|-------------------|---|---|---------|--------|--------------|----|--------------|
| Máquina 01 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | <= | 1.900.800,00 |
| Máquina 02 | 0 | 0 | 1675000 | 0 | 1.675.000,00 | <= | 1.900.800,00 |
| Máquina 04 | 0 | 0 | 0 | 434600 | 1.757.724,00 | <= | 1.900.800,00 |
| | 0 | 0 | 1063920 | 0 | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 13. Restricciones, lote mínimo de producción.

| Lote mínimo de producción mensual | | | |
|-----------------------------------|------|----|--------|
| Molde 1 | 0 | <= | - |
| | 6099 | <= | 44.724 |
| | 0 | <= | - |
| | 6099 | <= | 44.724 |
| | 0 | <= | - |
| | 6099 | <= | 44.724 |
| | 0 | <= | - |
| | 6099 | <= | 44.724 |
| | 0 | <= | - |
| | 6099 | <= | 44.724 |
| | 0 | <= | - |
| | 6099 | <= | 44.724 |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 14. Restricciones, variables dependientes.

| Variables dependientes | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|
| X1005 | X1013 | X1018 | X1021 |
| 134 | 134 | 134 | 134 |
| 1935 | 0 | 0 | 0 |

259.290

←

\$ 1.900.800

Fuente: Elaboración propia.

Anexo I. 15. Output del sistema propuesto.

| Máquina 05 | | | | |
|-------------------|----|----------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Código SAP | N° | Producto | Piezas a fabricar | Tiempo de fabricación (Hrs) |
| 928141 | 09 | CODO 75X90' | - | - |
| 928170 | 10 | CODO 160X45' | 1.935 | 72 |
| 928289 | 12 | R.EXC 110X75 | - | - |
| 928488 | 22 | TEE 110 x 75 C-E | - | - |
| 928495 | 25 | TEE 50 | 20.802 | 142 |
| 928110 | 43 | CODO 160X45' Novafort JAN. | - | - |
| 928942 | 45 | CODO 160X45' Novafort C-E | - | - |
| Utilización total | | | | 40% |

Fuente: Elaboración propia.

Para consultar el sistema de planificación y programación de la producción propuesto en este trabajo, puede acceder haciendo clic en el archivo Excel llamado “Sistema de planificación y programación de la producción en el área de inyección (septiembre 2015) MAZZARRI MONTALVO” que se encuentra anexo en el CD.

ANEXO II

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PROPUESTO



Sistema de Planificación y Programación de la Producción en el área de Inyección.

Manual de funcionamiento

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| PROCEDIMIENTOS | 4 |
| 1. Generación del PMP (Plan Maestro de Producción) | 4 |
| 2. Ejecución del modelo | 4 |
| 3. Actualizaciones del sistema | 8 |
| 3.1 Agregar una máquina inyectora al sistema | 8 |
| 3.2 Mantenimiento o desincorporación de una máquina inyectora | 9 |
| 3.3 Agregar un molde de piezas de PVC al sistema | 10 |
| 3.4 Mantenimiento o desincorporación de un molde de piezas de PVC | 11 |

INTRODUCCIÓN

El Sistema de Planificación y Programación de la Producción permite determinar las cantidades de producto requerido para satisfacer la demanda mensual pronosticada, adicionalmente genera un arreglo entre moldes de piezas de PVC y máquinas inyectoras que permite satisfacer los requerimientos de producción en el menor tiempo de operación.

Este manual tiene la finalidad de orientar al usuario en la utilización del sistema y su actualización.

PROCEDIMIENTOS

1. Generación del PMP (Plan Maestro de Producción)

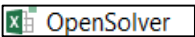
El PMP indica los requerimientos de producción mensuales. A continuación se indican los pasos para generar el PMP:

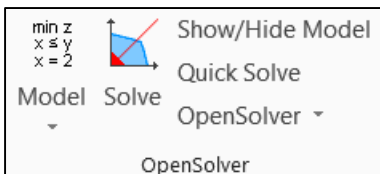
- Cargar los datos históricos de ventas de los productos en la hoja “Ventas” (deben cargarse como mínimo 12 meses de datos históricos de un producto) para obtener los pronósticos de ventas correspondientes en la sección “Pronósticos de Venta”.
- Cargar el inventario inicial de producto disponible para el mes correspondiente en la hoja “Inventario”. En caso de que sea necesario ajustar el nivel del inventario de seguridad, dirigirse a la sección “Inventario de Seguridad” (la opción por defecto de reservas de seguridad satisface hasta un mes de demanda).
- En la hoja “MPS” en la sección “Requerimiento de Producción” se indicarán las unidades de producto disponible (mayores a cero) o requerido (menores a cero). Finalmente, en la sección “MPS” se indicarán las unidades a ser producidas ajustadas a los lotes mínimos de producción.

2. Ejecución del modelo


AVISO: Para poder ejecutar el modelo es necesario utilizar el complemento OpenSolver (puede ser obtenido a través de <http://opensolver.org/> en la sección “Download and Install”) esto se debe a que el número de variables que puede manejar el solver incorporado en Excel es limitado.

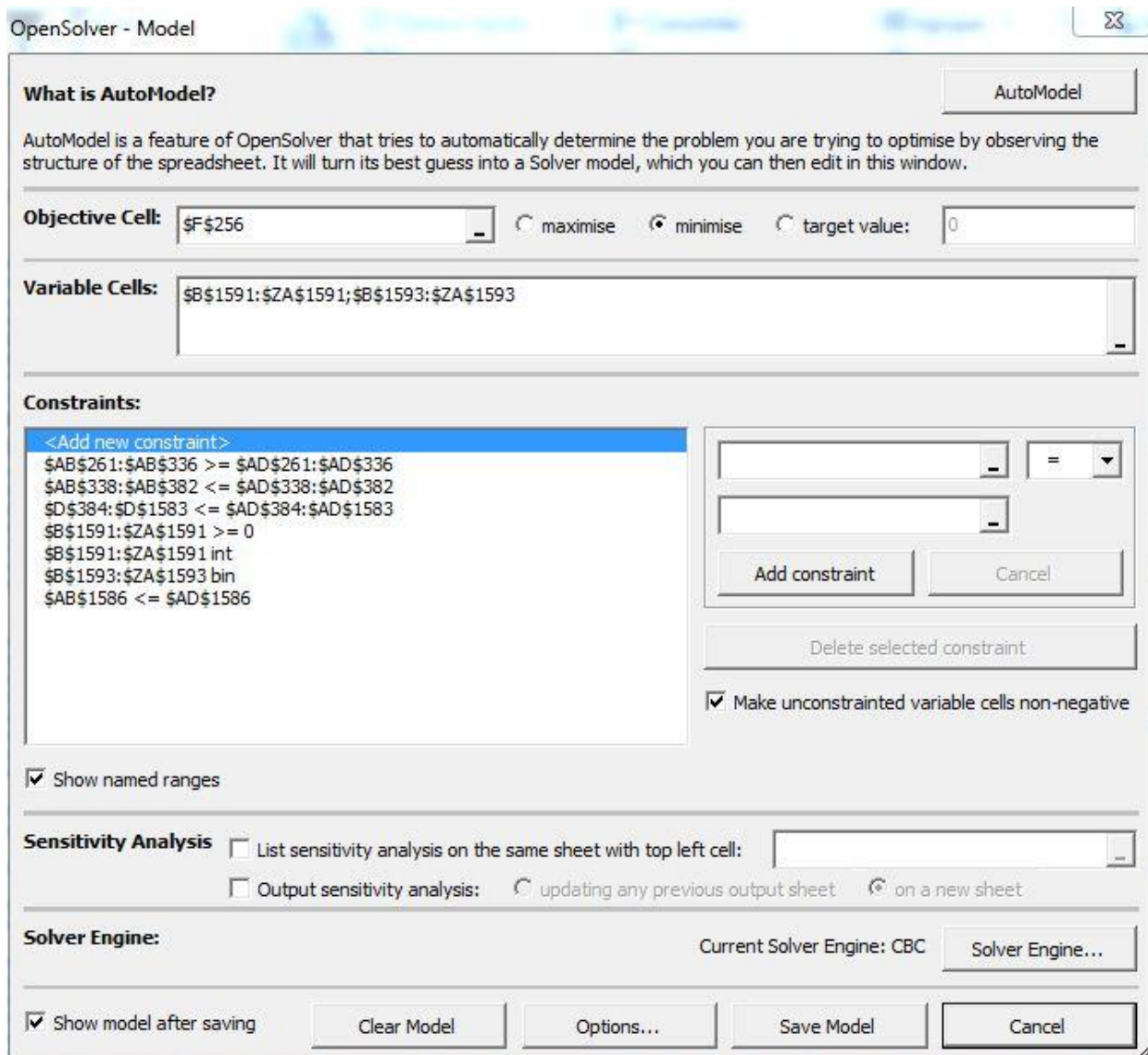
Al descargar el archivo zip, este debe ser extraído en una ubicación conveniente para su fácil acceso.

- Hacer doble clic en el archivo “OpenSolver” 
- Si Excel despliega una ventana relacionada a la utilización de macros, seleccionar la opción “Habilitar macros”.
- A continuación, aparecerán las opciones de OpenSolver en el lado derecho de la pestaña “DATOS” de Excel, como se muestran a continuación:



Opciones de OpenSolver

- Para establecer los parámetros del modelo es necesario ubicarse en la hoja “**Modelo**”.
- Hacer clic en el botón  y seleccionar la opción “Model...”, a continuación aparecerá la siguiente ventana:



OpenSolver - Model

What is AutoModel? AutoModel

AutoModel is a feature of OpenSolver that tries to automatically determine the problem you are trying to optimise by observing the structure of the spreadsheet. It will turn its best guess into a Solver model, which you can then edit in this window.

Objective Cell: ☐ maximise ☒ minimise ☐ target value:

Variable Cells:

Constraints:

- \$AB\$261:\$AB\$336 >= \$AD\$261:\$AD\$336
- \$AB\$338:\$AB\$382 <= \$AD\$338:\$AD\$382
- \$D\$384:\$D\$1583 <= \$AD\$384:\$AD\$1583
- \$B\$1591:\$ZA\$1591 >= 0
- \$B\$1591:\$ZA\$1591 int
- \$B\$1593:\$ZA\$1593 bin
- \$AB\$1586 <= \$AD\$1586

☒ Make unconstrained variable cells non-negative

☒ Show named ranges


Sensitivity Analysis ☐ List sensitivity analysis on the same sheet with top left cell:

☐ Output sensitivity analysis: ☐ updating any previous output sheet ☒ on a new sheet

Solver Engine: Current Solver Engine: CBC Solver Engine...

☒ Show model after saving Clear Model Options... Save Model Cancel

Ventana de parametrización de OpenSolver


- En la sección “**Objective Cell**” se debe seleccionar la opción “minimise” para indicar que se minimizará la función objetivo, luego haciendo clic en el botón  se debe seleccionar la celda **F256** correspondiente a la función objetivo, ubicada en la sección “Función Objetivo” bajo el nombre “Tiempo total de operación (seg)”.


- En la sección “**Variable Cells**” se debe seleccionar el rango de celdas asociado a las variables de decisión del modelo, en este caso se deben seleccionar dos rangos, el primero **B1591:ZA1591** y el segundo, **B1593:ZA1593**.
- La sección “**Constraints**” pertenece a las restricciones del modelo, haciendo clic en el botón “Add Constraint” se agregan nuevas restricciones al modelo:



Ventana para agregar constantes al modelo

Restricciones de requerimiento mensual de producto

Haciendo clic en el botón  de la primera celda se debe seleccionar el rango **AB261:AB336**, correspondiente a la suma de las variables asociadas con la fabricación de productos (en unidades) en las máquinas a las que estos se encuentren asociados (lado izquierdo de la restricción). Estas restricciones deben ser del tipo mayor o igual (\geq) para satisfacer los requerimientos de producción.

Luego, haciendo clic en el botón  de la segunda celda se debe seleccionar el rango **AD261:AD336**, correspondiente a los requerimientos de producción generados en el MPS.

Restricciones de capacidad mensual de las máquinas

Para el lado izquierdo de la restricción se debe seleccionar el rango **AB338:AB382**, correspondiente a la suma de los tiempos de fabricación (en segundos) de cada producto asociado a cada una de las máquinas. Estas restricciones deben ser del tipo menor o igual (\leq) para satisfacer el tiempo de fabricación mensual de cada máquina. Para el lado derecho de la restricción se debe seleccionar el rango **AD338:AD382**, correspondiente al tiempo mensual disponible (en segundos) para la fabricación de productos.

Restricciones de lote mínimo de producción mensual

Para el lado izquierdo de la restricción se debe seleccionar el rango **D384:D1583**, estas restricciones deben ser del tipo menor o igual (\leq) para satisfacer las políticas de

lotes mínimos de producto. Para el lado derecho de la restricción se debe seleccionar el rango **AD384:AD1583**.

Estas restricciones se asignan en pares para cada producto y por cada máquina en la que pueda ser fabricado, permiten que el sistema active o no la producción de cierto producto en una máquina y que la cantidad del mismo se ajuste a los lotes mínimos de producción en caso de su activación.

Restricción de variables dependientes

Para el lado izquierdo de la restricción se debe seleccionar la celda **AB1586**, correspondiente a la suma de los tiempos de fabricación (en segundos) de cada producto asociado a este molde. Esta restricción debe ser del tipo menor o igual (\leq) para satisfacer el tiempo de fabricación mensual de este molde. Para el lado derecho de la restricción se debe seleccionar la celda **AD1586**, correspondiente al tiempo mensual de fabricación disponible para este molde.

Restricción de no negatividad

Para el lado izquierdo de esta restricción seleccionar el rango **B1591:ZA1591**, esta restricción debe ser del tipo mayor o igual (\geq), para el lado derecho de la restricción debe colocarse el valor 0 (cero). Esta restricción limita a todas las variables a tomar valores positivos.

Variables enteras

Para el lado izquierdo de esta restricción seleccionar el rango **B1591:ZA1591**, en la lista desplegable seleccionar la opción “int”. Esta restricción limita a las variables del modelo a tomar valores enteros, ya que estamos hablando de unidades producidas.

Variables binarias

Para el lado izquierdo de esta restricción seleccionar el rango **B1593:ZA1593**, en la lista desplegable seleccionar la opción “bin”. Esta restricción limita a las variables de

operatividad de fabricación de un producto en una máquina a tomar valores binarios (0 si no se fabrica el producto en la máquina y 1 en caso contrario).

3. Actualizaciones del sistema

3.1 Agregar una máquina inyectora al sistema

- Debajo de la fila **231** en la sección “Variables” agregar nuevas filas para añadir la nueva máquina inyectora bajo el formato que se muestra a continuación:

| Máquina j | | ← j: número de la nueva máquina |
|-----------|---|---|
| Xij | ← | Variable de decisión. Molde i en máquina j |
| 12,00 | ← | Tiempo de producción por pieza del molde i en la máquina j |
| 0 | ← | celda de resultado para Xij |
| Yix | ← | Variable de decisión. Se fabrica o no con el molde i en máquina j |
| 0 | ← | celda de resultado para Yij |

- Copiar las celdas agregadas en la sección “Variables” y pegarlas a partir de la celda **ZB1589**.

- Vincular las celdas de resultado del paso anterior con las celdas de resultado de la sección “Variables”.

- Ajustar el rango de la función objetivo en la celda **F256**.

- En las restricciones de “requerimiento mensual de producto” se deben ajustar solo aquellas restricciones de productos que se fabriquen con un molde que pueda operar en la nueva máquina inyectora, vinculando la celda de resultado de la sección “Variables” de la variable xij correspondiente a cada producto.

- Ajustar el rango de suma del lado izquierdo de la restricción para los productos que se modificaron en el paso anterior.

- En las restricciones de “capacidad mensual” debajo de la fila **378** se deben agregar la cantidad de filas necesarias según la cantidad de variables xij asociadas a la nueva máquina inyectora.

- Agregar la sumatoria de todas las variables x_{ij} asociadas a la nueva máquina inyectora como lado izquierdo de la restricción.
- Agregar el tiempo mensual disponible de la nueva máquina inyectora del lado derecho de la restricción.
- En las restricciones de “lote mínimo de producción mensual” para cada molde que pueda operar en la nueva máquina inyectora, se deben agregar dos filas y formular las restricciones correspondientes, lado izquierdo y lado derecho como se muestra a continuación:

CELDA RESULTADO ASOCIADAS A:

$$x_{ij} \leq lmax_i \cdot y_{ij}$$

$$lmin_i - x_{ij} \leq lmax_i (1 - y_{ij})$$

Donde:

x_{ij} : Cantidad de piezas a producir con el molde i en la máquina j en unidades.

$lmax$: Lote máximo de producción del producto asociado al molde i en unidades.

y_{ij} : $\begin{cases} 1 & \text{Se fabrica con el molde } i \text{ en la máquina } j \\ 0 & \text{Cualquier otro caso} \end{cases}$

$lmin_i$: Lote mínimo de producción del producto asociado al molde i en unidades.

- Ajustar los rangos de celdas asociados a lotes mínimos en la ventana de parametrización de open solver.

3.2 Mantenimiento o desincorporación de una máquina inyectora

- En caso de mantenimiento, en las restricciones de “capacidad mensual” del lado derecho de la restricción asociada a la máquina inyectora que se encuentra en mantenimiento, se debe ajustar el tiempo disponible de operación restando el tiempo que la máquina estuvo en mantenimiento.

- En caso de desincorporación, en las restricciones de “capacidad mensual” del lado derecho de la restricción asociada a la máquina inyectora que se desea desincorporar, se debe colocar 0.

3.3 Agregar un molde de piezas de PVC al sistema

- En la sección “Variables” en las máquinas donde el molde pueda operar, se deben incorporar las celdas correspondientes al nuevo molde de la siguiente manera:

| | | |
|-------|---|---|
| Xij | ← | Variable de decisión. Molde i en máquina j |
| 12,00 | ← | Tiempo de producción por pieza del molde i en la máquina j |
| 0 | ← | celda de resultado para Xij |
| Yix | ← | Variable de decisión. Se fabrica o no con el molde i en máquina j |
| 0 | ← | celda de resultado para Yij |

Siendo i el numero correspondiente al nuevo molde

- Copiar todas las nuevas celdas agregadas en la sección “Variables” y pegarlas a partir de la primera celda libre en la fila **1589**.

- Vincular las celdas de resultado del paso anterior con las celdas resultado de la sección “Variables”.

- Ajustar el rango de la función objetivo en la celda **F256**.

- Dependiendo de la condición del molde las restricciones de “requerimiento mensual de producto” se deben ajustar de la siguiente manera:

Sí el molde corresponde a un nuevo producto entonces se debe agregar una fila debajo de la fila **336** y añadir el vínculo de las celdas de resultado de las variables xij correspondientes al producto.

Sí el molde corresponde a un producto que ya se fabrica entonces se debe agregar el vínculo correspondiente a las nuevas variables xij asociadas a dicho producto en su fila correspondiente.

- Ajustar o agregar el rango de suma del lado izquierdo de la restricción para los productos que se modificaron o agregaron en el paso anterior.

- En las restricciones de “capacidad mensual” se debe añadir el vínculo de las celdas de resultado correspondientes a las nuevas variables x_{ij} agregadas en la sección “Variables” en la máquina inyectora donde el nuevo molde puede operar.
- Ajustar el rango de suma del lado izquierdo de la restricción para las máquinas donde fueron añadidas nuevas variables en el paso anterior.
- En las restricciones de “lote mínimo de producción mensual” a partir de la fila **1583** se deben agregar dos filas por cada variable x_{ij} que se haya incorporado en la sección “variables” y formular las restricciones correspondientes, lado izquierdo y lado derecho como se muestra a continuación:

CELDA RESULTADO ASOCIADAS A:

$$x_{ij} \leq lmax_i \cdot y_{ij}$$

$$lmin_i - x_{ij} \leq lmax_i (1 - y_{ij})$$

Donde:

x_{ij} : Cantidad de piezas a producir con el molde i en la máquina j en unidades.

$lmax$: Lote máximo de producción del producto asociado al molde i en unidades.

y_{ij} : $\begin{cases} 1 & \text{Se fabrica con el molde } i \text{ en la máquina } j \\ 0 & \text{Cualquier otro caso} \end{cases}$

$lmin_i$: Lote mínimo de producción del producto asociado al molde i en unidades.

- Ajustar los rangos de celdas en la ventana de parametrización de open solver.

3.4 Mantenimiento o desincorporación de un molde de piezas de PVC

- En las restricciones de “Requerimiento mensual de producto” del lado derecho de la restricción asociada al molde que se encuentra en mantenimiento o que va a ser desincorporado, se debe colocar 0.