

Modelo de toma de decisiones para integrar la demanda a la capacidad instalada de la Planta Platos-Loza en Locería Colombiana S.A.S.

Decision-making model to integrate the demand to the installed capacity of the Platos-Loza Plant in Loceria Colombiana S.A.S

Modelo de tomada de decisão para integrar a demanda à capacidade instalada da Usina Platos-Loza em Loceria Colombiana S.A.S

Meliza Andrea Bedoya Gómez

Mebedoya1@poligran.edu.co

Politécnico Gran Colombiano

Colombia

Ingeniería Industrial

Estudiante

Facultad de Ingeniería Diseño e Innovación

Tutor

Albeiro Hernán Suárez Hernández

Cotutor

Mauricio Gómez Vásquez

Recepción: 15/06/2022

Aceptación: 15/06/2022

Tabla de contenido

Tabla de contenido	2
Resumen	3
Palabras clave	3
Abstract	3
Keywords.....	3
Marco Teórico.....	3
INTRODUCCIÓN.....	5
Objetivos:.....	5
General:.....	5
Específicos:	5
METODOLOGÍA.....	6
RESULTADOS	9
DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN.....	20
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
Ilustración 1	6
Ilustración 2	6
Ilustración 3	7
Ilustración 4	9
Ilustración 5	16
Ilustración 6	16
Ilustración 7	17
Ilustración 8	17
Ilustración 9	18
Ilustración 10	18
Ilustración 11	19
Tabla 1.....	7
Tabla 2.....	8
Tabla 3.....	8
Tabla 4.....	9
Tabla 5.....	10
Tabla 6.....	10
Tabla 7.....	11
Tabla 8.....	11
Tabla 9.....	12
Tabla 10.....	12
Tabla 11.....	13
Tabla 12.....	13
Tabla 13.....	13
Tabla 14.....	14
Tabla 15.....	14
Tabla 16.....	14

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

Tabla 17.....	15
Tabla 18.....	15
Tabla 19.....	15

Resumen

El objetivo de este informe de práctica es determinar la capacidad real de la planta de platos-loza teniendo en cuenta el cumplimiento de los lotes mínimos y las capacidades máximas de los procesos que la componen, con el objetivo de tomar decisiones encaminadas a cumplir con la totalidad del portafolio de esta planta. Para flexibilizar la toma de decisiones sobre la capacidad de producción respecto a la demanda de las diferentes referencias se utiliza el complemento Solver de Excel y gráficos dinámicos que permiten la representación de los resultados obtenidos. Para el desarrollo del modelo matemático se integraron tres modelos de programación lineal con objetivos priorizados a partir del proceso cuello de botella, el proceso de formación. Otro aspecto priorizado en esta práctica empresarial consiste en mejorar el nivel de servicio y el cumplimiento de las órdenes de producción dentro de la planta de platos-loza.

Finalmente, se plantearán los porcentajes de cumplimiento del portafolio alcanzados por cada una de las tecnologías y se darán alternativas para aquellas maquinas que no logran un cumplimiento de la totalidad de las formas del portafolio activo.

Palabras clave

Programación lineal, Programación de la producción, Solver, Capacidad instalada, Portafolio.

Abstract

The objective of this practice report is to determine the real capacity of the plate-ware plant taking into account the fulfillment of the minimum batches and the maximum capacities of the processes that compose it, with the objective of making decisions aimed at complying with the entire portfolio of this plant. In order to make decisions on production capacity more flexible with respect to the demand for the different references, the Excel Solver complement and dynamic graphics are used that allow the representation of the results obtained. For the development of the mathematical model, three linear programming models were integrated with prioritized objectives from the bottleneck process, the training process. Another prioritized aspect in this business practice is to improve the level of service and compliance with production orders within the pottery plant.

Finally, the portfolio compliance percentages achieved by each of the technologies will be considered and alternatives will be given for those machines that do not achieve compliance with all the forms of the active portfolio.

Keywords

Linear programming, Production programming, Solver, Installed capacity, Portfolio.

Marco Teórico

En esta sección se presentarán conceptos relevantes para el desarrollo de la práctica y que permitieron soportar teóricamente los modelos propuestos y cumplir con los objetivos planteados.

Programación lineal

Es un método mediante el cual se optimiza, ya sea maximizando o minimizando, una función objetivo, donde las variables están elevadas a la potencia 1. Esto, tomando en cuenta distintas restricciones dadas por los recursos disponibles en el entorno estudiado. Los principales elementos de la programación lineal son: las variables de decisión (Definición de aquellas variables que permiten tomar decisiones); la Función objetivo (Es aquella función que se pretende optimizar, ya sea maximizando o minimizando su resultado) y las Restricciones (Son aquellas condiciones que deben cumplirse al optimizar la función objetivo. Puede tratarse de ecuaciones o inecuaciones algebraicas). (Westreicher, 2021)

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

Programación de la producción

Se ocupa de definir los planes o los programas de producción y de establecer qué, cuánto y cuándo producir con diferentes niveles de detalle y diferentes horizontes temporales. El objetivo fundamental de la programación de la producción es organizar la actividad de producción de manera que ésta resulte coherente con los planes de la empresa que establecen los objetivos económico-financieros de la empresa en su conjunto a mediano plazo. (Vertical Think, 2019)

Solver de Excel

Es un programa de complemento de Microsoft Excel usado para llevar a cabo análisis y sí. Permite encontrar un valor óptimo (mínimo o máximo) para una fórmula en una celda, la celda objetivo, que está sujeta a restricciones o limitaciones en los valores de otras celdas de fórmula de una hoja de cálculo. Solver trabaja con un grupo de celdas llamadas celdas de variables de decisión o, simplemente, celdas de variables, que se usan para calcular fórmulas en las celdas objetivo y de restricción. Igualmente ajusta los valores de las celdas de variables de decisión para que cumplan con los límites de las celdas de restricción y den el resultado deseado en la celda objetivo. (Microsoft, 2022)

Capacidad Instalada

Es el potencial de producción o volumen máximo de producción que una empresa en particular, unidad, departamento o sección puede lograr durante un período de tiempo determinado, teniendo en cuenta todos los recursos que tienen disponibles, sea los equipos de producción, instalaciones, recursos humanos, tecnología, experiencia/conocimientos, etc. (Jara, 2015)

Portafolio de productos

Documento físico o una presentación digital en el cual una compañía o un prestador de servicios particular describe con detalle cualquier información respecto a la lista de productos o servicios que ofrece, con el fin de que sus clientes conozcan más acerca de su trabajo. (Universia, 2020)

Make to stock

Estrategia de producción tradicional que utilizan las empresas para hacer coincidir el inventario con la demanda anticipada del consumidor. En lugar de establecer un nivel de producción y luego intentar vender bienes, una empresa que usa MTS estimaría cuántos pedidos podrían generar sus productos y luego suministraría suficiente stock para cumplir con esos pedidos. (Segal, 2020)

Make to order

Estrategia de producción empresarial que normalmente permite a los consumidores comprar productos personalizados según sus especificaciones. Es un proceso de fabricación en el que la producción de un artículo comienza solo después de que se recibe un pedido confirmado del cliente. También se conoce como personalización masiva. (Hayes, 2020)

Teoría de Restricciones

Metodología que busca la mejora continua. identificando las restricciones o limitaciones encontradas en un sistema que lo hacen lento. busca identificar las restricciones que son denominadas cuellos de botella. Luego se debe actuar sobre ellas para lograr la mejora. De manera que se pueda aumentar la capacidad del sistema o lograr que no se produzcan fallas. (Quiroa, 2021)

DDMRP

Innovadora metodología para la planificación y gestión de inventarios y materiales que incorpora conceptos Lean, TOC y MRP. Permite a las organizaciones una producción alineada con la demanda real del mercado, facilitando una mejor y más rápida toma de decisiones, tanto a nivel de planificación como de ejecución. El Modelo DDMRP consta de 5 pasos básicos que le permiten dar servicio a los clientes; “Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

Posicionamiento estratégico de Buffers, dimensionamiento de Buffers, ajustes dinámicos de Buffers, planificación y gestión de alertas tempranas. (CMG Consultores, 2021).

INTRODUCCIÓN

La empresa Locería Colombiana S.A.S ha presentado problemas para tener un nivel de servicio óptimo frente al cliente, es decir, el “*line fill rite*” o cumplimiento de sus líneas de pedido. La meta propuesta es tener un nivel de servicio al menos del 95%, en la medición de marzo de 2022 este indicador oscilaba entre el 75% y el 89%, mostrando una diferencia considerable respecto a la meta de la compañía. Un objetivo priorizado de esta práctica conlleva diseñar estrategias para medir la capacidad a partir de las continuas fluctuaciones de la demanda, además de altos niveles de servicio cercanos a la meta del 95% que generan una mayor productividad de la planta y por ende una mayor competitividad frente a las demás plantas de la compañía. A partir del diagnóstico inicial, se decide usar programación lineal para determinar las capacidades reales de la planta que permitan cumplir todas las ordenes de pedidos con un alto nivel de servicio cercano al 95%.

A lo largo de este informe de práctica se explica la metodología utilizada para su ejecución y medición de la capacidad instalada de la planta de platos-loza, la cual tiene como principal objetivo diseñar e implementar un modelo de programación lineal que evalúe el portafolio versus la capacidad de la planta logrando adecuar el 100% del portafolio a la capacidad de la planta. Así mismo, con base en el resultado obtenido se tomarán las referencias o familias del portafolio ya sean MTS (*Make To Stock*) y/o MTO (*Make To Order*) históricamente más vendidas y con un mayor consumo promedio diario, teniendo en cuenta esto se darán alternativas para aquellas referencias que no se logran incluir dentro de la formación en la planta.

Por otro lado, un beneficio que se esperan con la práctica empresarial es mejorar el cumplimiento de las órdenes de producción en la planta de platos-loza, dicho cumplimiento en la medición de febrero de 2022 oscila entre 70% a 85%, con esta evaluación de la capacidad se espera lograr un cumplimiento de al menos un 95% de las órdenes. Otros beneficios que se esperan obtener con el modelo de toma de decisiones a proponer serán: la liberación de espacio, la reducción del capital invertido al mejorar la asignación de recursos y el perfeccionamiento en el comportamiento de los inventarios. En este informe de práctica se evidencian los resultados y/o mejoras obtenidas en términos de porcentaje, frente a una línea base de medición de marzo de 2022. Finalmente, dentro de la planeación estratégica y los objetivos de la organización, esta práctica empresarial fue orientada al cumplimiento del objetivo estratégico relacionado con incrementar la productividad de producción para elevar la competitividad en el mercado.

Objetivos:

General:

- Diseñar un modelo de toma de decisiones que de forma flexible adapte la demanda a la capacidad instalada de la planta Platos-Loza integrando modelos de optimización a los procesos de moldeado, formación y esmaltado.

Específicos:

- Realizar un diagnóstico que permita reconocer el estado inicial de la planta Platos-Loza y recopilar los parámetros que determinan su capacidad de producción.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

- Construir los modelos de programación lineal, definiendo las variables de decisión, función objetivo y restricciones, para mejorar el nivel de servicio de la planta Platos-Loza.
- Proponer recomendaciones que permitan flexibilizar la capacidad de la planta a las necesidades cambiantes de la demanda.

METODOLOGÍA

El proceso que se lleva a cabo en la planta de platos-loza se realiza bajo dos estrategias de producción, *Make to Stock* para las referencias de hogar y algunas de ellas institucionales y *Make to Order* para las referencias *business to business* e igualmente para las referencias institucionales. Para el desarrollo de los productos se llevan a cabo tres procesos, el proceso inicia con el moldeado, consiste en el montaje de matrices (el molde de las tipologías) sobre mesas soporte, las cuales según el tamaño en diámetro son asignadas. Teniendo listo dicho montaje el siguiente paso es aceitar cada una de las matrices para realizar un vaciado con yeso y finalmente después de un tiempo de espera, se desmolda y se llevan a los secaderos durante un turno de trabajo completo, cabe aclarar que el recurso que limita la capacidad de moldeado son las mesas disponibles, razón por la cual la función objetivo de este proceso viene dada por las mesas. Luego viene formación definido como el cuello de botella según los reportes de tiempos históricos de la planta, este proceso consta de 6 máquinas de formación cada una destinada a una tipología en específico, se realiza un montaje teniendo en cuenta unos lotes mínimos (MOQ) y las capacidades máximas de cada roller. Finalmente, viene el proceso de esmaltado, se define como el proceso de decoración de cada tipología y a su vez el sellado final del plato, es decir, el revestimiento del plato con un esmalte vidriado generando el acabado final del producto. Dentro de los procesos existen buffers mayormente para referencias de mayor rotación y específicamente para el proceso de moldeado se cuenta con un Kanban, lo mencionado anteriormente permite abastecer necesidades en momentos donde la capacidad del proceso es menor a la demanda de productos.



Ilustración 1
Procesos de la Planta de Platos-Loza
Fuente: Elaboración propia

Como anteriormente se mencionaba la planta de platos-loza cuenta con 5 familias o tipologías de productos, las cuales componen el portafolio de esta planta, se representan de la siguiente ilustración:



Ilustración 2
Portafolio por grupo de productos
Fuente: Elaboración propia

El problema antes contextualizado pretender ser resuelto con modelos de programación lineal y específicamente usando el complemento Solver de Excel ya que es un problema de programación lineal

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

que no requiere más de 256 variables. Mediante programación lineal se tienen en cuenta diversas variables según el modelo estudiado, este informe de práctica empresarial incluye tres modelos relacionados con tres procesos de la planta de Platos-Loza de Locería Colombiana S.A.S. los cuales son: moldeado, formación y esmaltado. Los modelos se encuentran integrados y por ende conectados uno del otro, es decir, el resultado de un modelo sirve de insumo para las restricciones de los demás modelos, partiendo que el modelo inicial es el de Formación, esto debido a que es el proceso cuello de botella o que restringe la capacidad total de la planta.

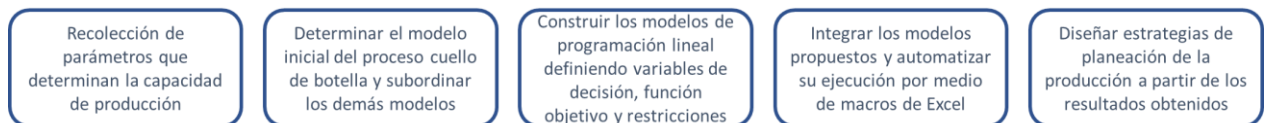


Ilustración 3
Metodología de la práctica empresarial
Fuente: Elaboración propia

El primer paso para esta práctica empresarial es la recopilación de la información y se hizo mediante la generación de reportes del software de gestión de procesos y flujo de información SAP (desarrollo de programas de sistemas de análisis). Para los procesos de formación y esmaltado los principales datos necesarios son: Lotes mínimos (MOQ), disponibilidad, piezas por hora (con las cuales se obtendrán las capacidades máximas de cada tecnología), referencias o código de los materiales que pasan por las tecnologías y consumo promedio diario (ADU). Para el proceso de moldes es necesaria la siguiente información de entrada: mesas disponibles, capacidad de vaciado, número promedio de matrices y tipologías. Partiendo de la lista de datos de entrada a los modelos, se continúa con el segundo paso, el cual es desarrollar el modelo 1, correspondiente al proceso de formación, el cual contiene 6 variables de decisión y vienen dadas por cada una de las tecnologías disponibles en este proceso, las cuales se muestran en la siguiente tabla:

Variables de decisión	Descripción Tecnología
Cantidad de formas a procesar en un día por la tecnología P20	Roller Automático P20
Cantidad de formas a procesar en un día por la tecnología P27	Roller Automático P27
Cantidad de formas a procesar en un día por la tecnología P28	Roller Automático 28cm
Cantidad de formas a procesar en un día por la tecnología P31	Roller Automático 31cm
Cantidad de lotes a procesar en un día por la tecnología SEC_3	SECADERO 3
Cantidad de lotes a procesar en un día por la tecnología SEC_4	SECADERO 4

Tabla 1
Variables Formación
Fuente: Elaboración Propia

En el modelo de formación se busca maximizar el número de formas al día o mejor entendido como lotes al día por cada tecnología. La asignación de la función objetivo viene dada por los lotes mínimos multiplicada por cada una de las variables de decisión de las tecnologías, así mismo las restricciones contienen los lotes mínimos multiplicada por cada una de sus variables de decisión y estas deben ser menores o iguales a la capacidad máxima de cada una de las máquinas. El tercer paso es la solución del modelo 1 y la celda objetivo genera el resultado de piezas por día y en cada una de las variables, es decir, en las celdas cambiantes se obtiene la capacidad máxima de las formas al día que es capaz de hacer cada una de las tecnologías. Las celdas cambiantes vienen dadas por nueve variables debido a que algunas máquinas, como la P20, P27 y P28, tienen doble roller, es decir, doble capacidad de producción, pero con lotes mínimos diferentes en cada roller. Teniendo claro que la respuesta obtenida por el modelo de formación será la capacidad máxima de formas al día, es en este punto donde el modelo de formación genera una relación con el modelo 2, que corresponde al proceso de moldeado y serán incluidas en las “Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

restricciones como la necesidad diaria que tiene la planta de formación. En otras palabras, la dependencia se debe a que la planta de moldes diariamente deberá entregar lotes de moldes a la planta de formación, los cuales son necesarios para que las tecnologías (P20, P27, P28, P31, SEC3 y SEC4) funcionen y cada una de ellas son dadas por un número de juegos necesarios. En la celda objetivo se mostrarán las piezas al día capaces de formar la planta con dichas restricciones.

Los pasos uno, dos y tres se repiten para cada uno de los modelos en el mismo orden y descripción. La función objetivo para el modelo 2, que corresponde al proceso de moldeado vendrá dada por la suma de cada una de las tipologías. A continuación, se definen las tipologías y a que máquinas corresponden cada una de ellas, teniendo en cuenta que cada una de las tecnologías está encargada de hacer una tipología diferente:

Variables de decisión	Descripción Tipología	Tecnología a la que pertenecen
Asignación de mesas requeridas por X_H al día	Hondos	Roller Automático P27 y Secadero 3
Asignación de mesas requeridas por X_M al día	Medianos	Roller Automático 28cm y Secadero 4
Asignación de mesas requeridas por X_P al día	Pandos	Roller Automático 28cm y Secadero 4
Asignación de mesas requeridas por X_D al día	Dulceros	Roller Automático P20
Asignación de mesas requeridas por X_S al día	Super Pandos	Roller Automático 31cm

Tabla 2
Variables Tipologías
Fuente: Elaboración Propia

Las restricciones del modelo matemático del proceso de moldeado corresponden a la capacidad de vaciado de cada tipología mayor o igual a la necesidad de formación de cada una de las tecnologías. La capacidad de vaciado se obtiene mediante el promedio de las matrices por mesa multiplicadas por el número de vaciadas al día y la necesidad de formación, mediante la necesidad de formas al día (las cuales serán dadas por el modelo de formación) de las tecnologías multiplicadas por el número de juegos que requiere cada una de estas. Para moldes se agrega una restricción adicional que corresponde al proceso de secado y se define como la suma de la capacidad de vaciado de cada una de las tipologías menor o igual a la capacidad máxima de secado. El recurso que limita la capacidad del proceso de modelado son las mesas disponibles para realizar el vaciado, por lo anterior, el modelo 2 pretende minimizar el uso de mesas al día y las celdas cambiantes vendrán dadas por las mesas al día necesarias por cada tipología para poder atender la necesidad del proceso de formación y en la celda objetivo se obtiene el número de mesas totales utilizadas para cumplir dicha demanda.

Finalmente, siguiendo el mismo orden de pasos se plantean las restricciones y la función objetivo para la planta de esmaltado, este modelo se procede de una manera muy similar a la del modelo de formación ya que la función objetivo también es dada por los lotes mínimos multiplicada por cada una de las variables de decisión de las tecnologías, las variables de la planta de esmaltado se definen de la siguiente manera:

Variables de decisión	Descripción Tecnologías
Cantidad de formas a procesar en un día por la tecnología Pad 2	Pad Printing dos colores
Cantidad de formas a procesar en un día por la tecnología Pad 4	Pad Printing cuatros colores
Cantidad de formas a procesar en un día por la tecnología Evo 8	Inkjet Evo 8
Cantidad de formas a procesar en un día por la tecnología Sell	Selladora

Tabla 3
Variables Esmaltado
Fuente: Elaboración Propia

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

Esta planta también tiene una restricción adicional la cual está en función de la capacidad de los hornos de la planta de esmaltado. Se define como la suma de los lotes mínimos de cada una de las tecnologías presentadas anteriormente menor o igual a la capacidad máxima de los hornos de esta planta

Variables de decisión	Descripción Hornos
Cantidad de formas a procesar en un día por la tecnología H 1	Horno uno
Cantidad de formas a procesar en un día por la tecnología H 10	Horno diez

Tabla 4
Variables Hornos
Fuente: Elaboración Propia

Al igual que el modelo de formación, el modelo de esmaltado busca maximizar las formas esmaltadas al día. Las celdas cambiantes dan un resultado de formas al día capaces de atender cada una de las maquinas. En la celda objetivo se muestran las piezas al día capaces de esmaltar.

Para automatizar el modelo de toma de decisiones se construyó una macro que ejecuta en serie el complemento Solver de Excel de cada uno de los modelos propuestos a partir de los datos de entrada de cada uno de ellos. Los resultados obtenidos se presentan mediante un gráfico dinámico donde se evidencian cada una de las tecnologías de formación mostrando en porcentaje que capacidad del portafolio es capaz de atenderse teniendo en cuenta los buffers y las capacidades reales del modelo.

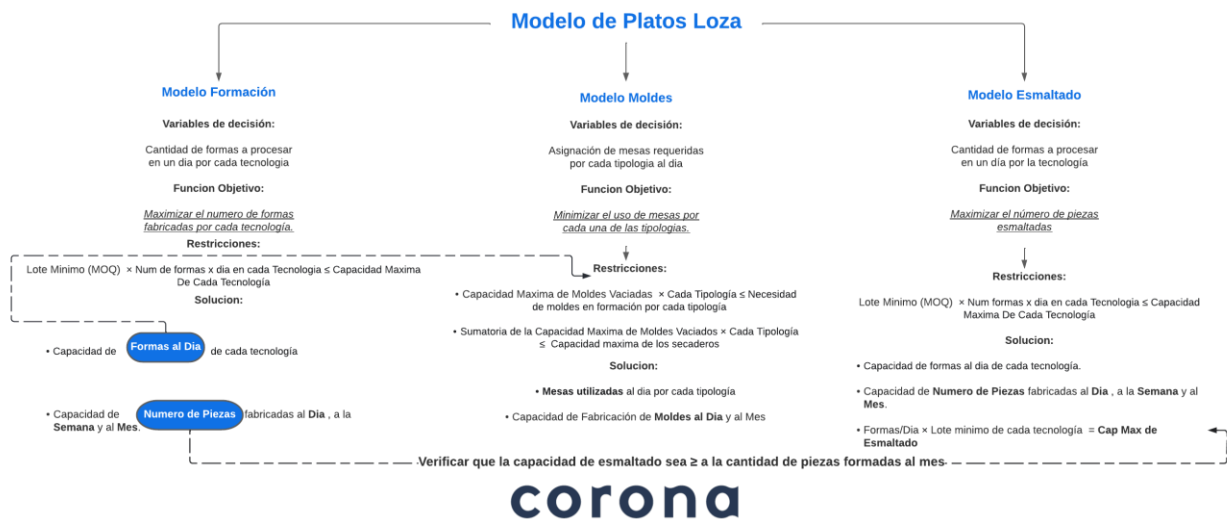


Ilustración 4
Resumen modelos Platos-Loza
Fuente: Elaboración Propia.

RESULTADOS

Mediante la solución de los modelos de forma integrada, se logró el objetivo de obtener los resultados como se planteaba en la metodología, comenzando con el modelo 1, correspondiente al proceso de formación, se presenta la siguiente función objetivo y restricciones;

Función Objetivo:

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

Max $Z = \sum_{i=1}^n MOQ_i * X_i$, donde i corresponde a las tecnologías disponibles en formación y $n = 5$

Max $Z = 10,500 \times P20_1 + 30,000 \times P20_2 + 50,000 \times P28_1 + 25,000 \times P28_2 + 50,000 \times P27_1 + 25,000 \times P27_2 + 12,000 \times P31 + 25,000 \times SEC_3 + 15,000 \times SEC_4$

Restricciones:

	MOQ		Variable	Signo	Capacidad Máxima
1.	10,500	x	P20_1	≤	11,285
2.	30,000	x	P20_2	≤	11,285
3.	50,000	x	P28_1	≤	13,317
4.	25,000	x	P28_2	≤	13,317
5.	50,000	x	P27_1	≤	12,477
6.	25,000	x	P27_2	≤	12,477
7.	12,000	x	P31	≤	6,311
8.	25,000	x	SEC_3	≤	19,402
9.	15,000	x	SEC_4	≤	18,662

Tabla 5
Restricciones Formación
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta las restricciones y la función objetivo descritas anteriormente, se logra obtener un resultado de formas al día, semana y mes por cada una de las tecnologías al igual que en la celda objetivo se evidencian las piezas al día, semana y mes;

Solución	Pequeños		Pandos y Medianos		Hondos		SuperPandos	Hondo	Pandos y medianos	Z	
	P20_1	P20_2	P28_1	P28_2	P27_1	P27_2	P31	SEC_3	SEC_4		
Formas/Día	1,04	0,36	0,3	0,5	0,2	0,5	0,5	0,75	1,20	114.064	Piezas/Día
Formas/Semana	7,26	2,54	1,79	3,58	1,68	3,35	3,52	5,24	8,40	798.449	Piezas/Semana
Formas/Mes	31,11	10,89	7,67	15,34	7,19	14,37	15,07	22,47	36,02	3.421.922	Piezas/Mes

Tabla 6
Resultado Modelo Formación
Fuente: Elaboración Propia

Como se mencionaba anteriormente, cada una de las tecnologías está diseñada para hacer específicamente una tipología de plato, así que los resultados de la tabla anterior se llevaron a una tabla resumen donde se indica la cantidad de formas al día, semana y mes que se puede hacer por cada tipología teniendo en cuenta la suma de las formas de las tecnologías;

Dulceros		Pandos y Medianos		Hondos		Sup Pandos	
Σ Formas/Día	1,4	Σ Formas/Día	2,0	Σ Formas/Día	1,5	Σ Formas/Día	0,5
Σ Formas/Semana	9,8	Σ Formas/Semana	13,8	Σ Formas/Semana	10,3	Σ Formas/Semana	3,5
Σ Formas/Mes	42,0	Σ Formas/Mes	59,0	Σ Formas/Mes	44,0	Σ Formas/Mes	15,1

Tabla 7
Formas Por Tipología
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo el resultado de estas formas en las celdas cambiantes, se llevan a las restricciones del modelo de moldes, donde la planta de formación le envía su necesidad en formas (lotes). Teniendo claro esto cabe aclarar que para el desarrollo del modelo de moldeado las tipologías de medianos y pandos se convirtieron en una sola variable debido a que son realizadas por la misma tecnología y corresponde a una misma necesidad, dicho esto, la función objetivo y las restricciones de moldes se plantean de la siguiente manera:

Función Objetivo:

Min $Z = \sum_{i=1}^n Mesas_i * X_i$, donde i corresponde a las tipologías disponibles en moldeado y n = 5

Min $Z = X_H + X_M + X_P + X_D + X_S$

Restricciones:

	Capacidad de Vaciado		Variable	Signo	Necesidad de Formación
1.	154	x	X_H	≥	747
2.	308	x	X_M & X_P	≥	1001
3.	98	x	X_D	≥	145
4.	84	x	X_S	≥	100

5.	154	x X_H +	308	x X_M & X_P +	98	x X_D +	84	x X_S	≤	1,538
----	-----	---------	-----	---------------	----	---------	----	-------	---	-------

Tabla 8
Restricciones Moldeado
Fuente: Elaboración Propia

A la hora de ingresar la necesidad de formación en el modelo de moldes, se toma solo la mitad de las necesidades de las primeras 4 restricciones, debido a que en esta planta de moldeado se maneja un Kanban, el cual les compensa la mitad de la necesidad que la formación les está exigiendo. Actualmente la planta cuenta con 8 mesas para platos loza y son utilizadas al tiempo para atender la necesidad de formación y para reponer el Kanban que se va consumiendo. Los resultados obtenidos fueron los siguientes;

Solución	P27 y SEC 3	P28 y SEC 4	P20	P31	Z	Mesas/día Moldes/día Moldes/mes
	X H	X M & X P	X D	X S		
	2,33	1,57	1,48	1,19	6,57	
	588	351	415	167	1520,08	
	16475	9817	11607	4663	42562,13	

Tabla 9
Resultados Moldeado
Fuente: Elaboración Propia

Se logra evidenciar las mesas que necesita utilizar cada tipología para cumplir con la demanda de formación, al igual que el total de mesas usadas. Como sabemos moldes tiene 8 mesas disponibles para platos loza, analizando los resultados tendremos 6,57 mesas para la necesidad de formación y 1,43 mesas para la reposición del Kanban.

Continuamos con el desarrollo del modelo de esmaltado, se tiene en cuenta la siguiente función objetivo y restricciones;

Función Objetivo:

Max $Z = \sum_{i=1}^n MOQ_i * X_i$, donde i corresponde a las tecnologías disponibles en esmaltado y $n = 5$

Maz $Z = 4,000 \times X_PAD2 + 4,000 \times X_PAD4 + 1,000 \times X_EVO8 + 1 \times X_SELL$

Restricciones:

	Capacidad de Vaciado		Variable	Signo	Necesidad de Formación
1.	4,000	x	X_PAD2	≤	34,150
2.	4,000	x	X_PAD4	≤	19,284
3.	1,000	x	X_EVO8	≤	23,380
4.	1	x	X_SELL	≤	10,906

5.	4,000	x	X_PAD2 +	4,000	x	X_PAD4 +	1,000	x	X_EVO8 +	1	x	X_SELL	≤	74,833
----	-------	---	----------	-------	---	----------	-------	---	----------	---	---	--------	---	--------

Tabla 10
Restricciones Esmaltado
Fuente: Elaboración Propia

El resultado obtenido es muy similar al del modelo de formación, pues se logra evidenciar una capacidad en formas de esmaltado por cada una de las tecnologías y en la celda objetivo la cantidad total de piezas esmaltadas al día;

Solución	X_PAD2	X_PAD4	X_EVO8	X_SELL	Z	
Formas/Día	8,54	4,82	21,40	0,00	74.833	Piezas/Día
Formas/Semana	59,76	33,75	149,80	0,00	523.834	Piezas/Semana
Formas/Mes	239,05	134,99	599,18	0,00	2.095.335	Piezas/Mes

Tabla 11
Resultados Esmaltado
Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en la imagen anterior la variable X_SELL hace 0,00 formas al día, esto se debe a que la planta de esmaltado cuenta con tanta capacidad que no será necesario utilizar todas las tecnologías para cumplir con la demanda.

En los modelos de esmaltado y moldes se evidencia suficiente capacidad para atender la demanda de formación, por lo que no será necesario propuestas de mejora o aumento de la capacidad. Cuando se analiza el modelo de formación con el portafolio, es necesario dar propuestas de mejora para que dicha planta cumpla con toda la demanda del portafolio, mejorando el cumplimiento de las órdenes de fabricación y por ende el nivel de servicio. El análisis se realiza individualmente por cada una de las tecnologías, comenzando por:

El Roller Automático 31cm que es la encargada de hacer los Super Pandos.

Esta tecnología cuenta con 4 referencias estrellas las cuales consumen el 35,66% de la capacidad de la máquina, es decir consume 0.18 formas de las 0.5 formas que es capaz de hacer al día. Lo anterior genera un 0.32 formas al día restantes para las demás referencias que pasan por esta tecnología:

	Referencias en movimiento	Total referencias
MTS	13	16
MTO	7	26
TOTAL	20	42

Tabla 12
Portafolio P31
Fuente: Elaboración Propia

La P31 tiene en total 20 referencias en movimiento, esto significa que son aquellas que han tenido un consumo promedio diario (ADU) en el último mes. Si tomamos las 0.32 formas/día y lo pasamos a una capacidad al mes, obtenemos 9 formas/mes. Teniendo en cuenta las referencias estrellas se logra identificar que la P31 tiene una capacidad de máquina de 13 formas/mes. Como vemos que no logra atender todas las referencias en movimiento, se analiza qué cantidad de formas aporta el buffer a la capacidad de la maquina:

Inventario Objetivo	Días de Inventario	Referencias que aporta
40,759	6.76	3.39

Tabla 13
Buffer P31
Fuente: Elaboración Propia

Si se suman la capacidad de la maquina más las referencias que aporta el buffer, tendremos una capacidad total del portafolio de 16 referencias al mes, lo que significa que debemos buscar alternativas para las 4 referencias que quedan por fuera de la capacidad.

El Roller Automático P20 que es la encargada de hacer la tipología de Dulceros, cuenta con 4 referencias estrellas las cuales consumen el 65,40% de la capacidad de la máquina, es decir consume 0.92 formas de

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

las 1.4 formas que es capaz de hacer al día. Los anterior deja el 0.48 formas al día restantes para las demás referencias que pasan por esta tecnología.

	Referencias en movimiento	Total referencias
MTS	13	17
MTO	4	43
TOTAL	17	60

Tabla 14
Portafolio P20
Fuente: Elaboración Propia

La rotación de las referencias en esta máquina se obtiene de la misma forma que la anterior, con base en su ADU. Sabiendo las formas al día que quedan restantes para el resto del portafolio, al pasar esta capacidad a formas/mes obtenemos 14. Entonces con las referencias estrella y la capacidad mes observamos que tiene una capacidad de formación de 18 referencias al mes. Generalmente esta tecnología mueve 17 referencias al mes y es evidente que no presenta un problema para la atención de su portafolio, sin embargo, decidimos estudiar qué cantidad de referencias le suma el buffer a esta tecnología;

Inventario Objetivo	Días de Inventario	Referencias que aporta
192,490	8.84	12

Tabla 15
Buffer P20
Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta la capacidad que otorga la maquina más el buffer concluimos que es capaz de hacer 30 formas al mes y no se presenta ningún tipo de problema para atender el portafolio de dulceros.

Continuando con el análisis de las tecnologías, El Roller Automático 28cm la encargada de hacer la tipología de Pandos y Medianos, tiene 4 referencias estrellas las cuales consumen un 20,19% de su capacidad al día. Como se presentó anteriormente esta tecnología tiene la capacidad de hacer 0.8 formas al día, las referencias estrellas consumen 0.15 formas al día, dejando una capacidad de 0.61 formas al día y 17 formas al mes. Actualmente el portafolio de esta tecnología es;

	Referencias en movimiento	Total referencias
MTS	29	29
MTO	9	105
TOTAL	38	134

Tabla 16
Portafolio P28
Fuente: Elaboración Propia

Como se muestra en la tabla anterior, hay 38 formas en movimiento. Puesto que hay cuatro referencias estrellas y la capacidad restante de la maquina es de diecisiete, la P28 cuenta con 21 formas al mes sin contar el buffer. Se decide realizar el análisis del buffer debido a que esta capacidad no es competente para atender las referencias que pasan mensualmente;

Inventario Objetivo	Días de Inventario	Referencias que aporta
347,741	13.60	10

Tabla 17
Buffer P28
Fuente: Elaboración Propia

La capacidad de la maquina más el buffer será entonces de 31 formas al mes. Se observa que esta máquina no es capaz de atender 7 de las referencias al mes, pues la capacidad sigue siendo menor a la demanda, por lo que habrá que buscar alternativas con mercadeo.

Siguiendo el análisis de las maquinas el Roller Automático P27, la encargada de hacer la tipología de hondos, su portafolio se comporta de la siguiente manera;

	Referencias en movimiento	Total referencias
MTS	15	21
MTO	6	71
TOTAL	21	92

Tabla 18
Portafolio P27
Fuente: Elaboración Propia

Este Roller tiene 5 referencias estrellas las cuales gastan el 83,33% convertido esto en formas, consume el 0.6 formas al día de su capacidad lo que solo deja 0.1 formas al día para las demás referencias que forma esta máquina y al mes solo deja 3 formas disponibles. La capacidad solo de la maquina es de 8 formas al mes, como se evidencia es una de las tecnologías más críticas, pues tiene una demanda muy alta y una capacidad baja. Al realizar el análisis del buffer, obtenemos;

Inventario Objetivo	Días de Inventario	Referencias que aporta
267,366	11.16	8

Tabla 19
Buffer P27
Fuente: Elaboración Propia

Como capacidad de la maquina más el buffer será de 16 formas al mes. La necesidad de esta máquina aún sigue siendo mayor a su capacidad, pues quedan 5 referencias sin atender, también se deberán tomar alternativas para atender el portafolio de la compañía.

La siguiente maquina a analizar será el Secadero 3, esta máquina es usada en la planta principalmente para atender rutas alternas de la tipología de hondos, cabe aclarar que no tienen la capacidad de atender todas las referencias de la P27 debido a que no es la misma tecnología. Cuenta con una referencia estrella la cual ocupa el 69,48% de su capacidad, es decir, consumen 0.52 formas al día de las 0.7 formas disponibles y al mes tiene una capacidad de siete formas. Ninguno de los secaderos cuenta con un inventario objetivo ya que son usadas como máquinas de apoyo en la capacidad, sin embargo no es suficiente.

Finalmente, tenemos el Secadero 4, principalmente usada como ruta alterna de los pandos y medianos, pero al igual que el secadero anterior no está diseñado para atender todas las formas de la P28. Igualmente, tiene una referencia estrella que consume el 63.44% de la capacidad, es decir, consume 0.76 formas al día y deja disponibles 13 formas al mes. Como se mencionaba anteriormente, solo cuenta con la capacidad real de la maquina ya que no se tiene un inventario objetivo.

Para entender mucho mejor la información expuesta anteriormente, se presentarán gráficos dinámicos que permiten una mejor interpretación de los resultados, en la ilustración 5 se muestra la capacidad de formas en día, semana y mes. En la Ilustración 6 se muestran la capacidad en piezas día, semana y mes;

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

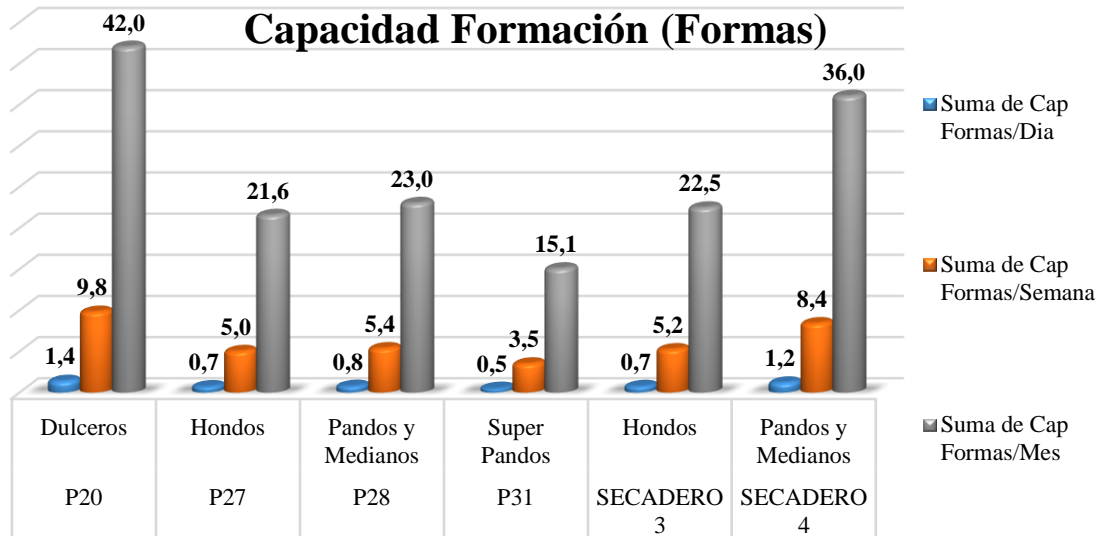


Ilustración 5
Capacidad Formación
Fuente: Elaboración Propia

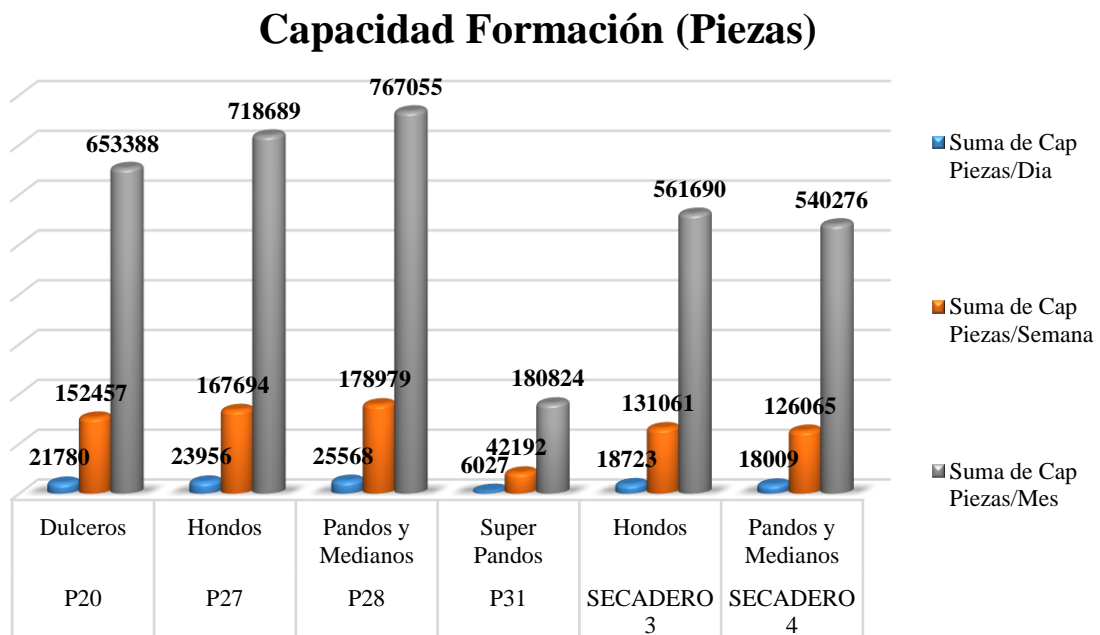


Ilustración 6
Capacidad Piezas Formación
Fuente: Elaboración Propia

El siguiente grafico muestra el portafolio total por cada una de las tecnologías y las referencias que es capaz de atender y en algunos casos las referencias que no logran ser atendidas:

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

Portafolio Atendido vs Sin Atender

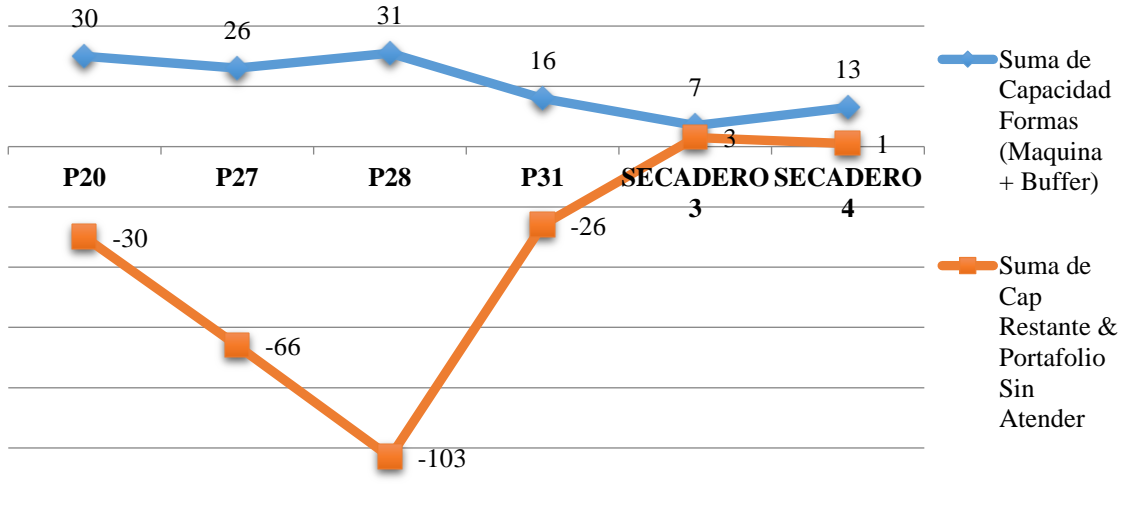


Ilustración 7
Atención Del Portafolio
Fuente: Elaboración Propia

Para finalizar con los resultados se mostrarán gráficamente las plantas de esmaltado y moldeado. El modelo de esmaltado presenta resultados en formas y piezas al igual que formación y el modelo de moldeado presenta resultado en mesas usadas y moldes fabricados con esas condiciones;

Capacidad Esmaltado (Formas)

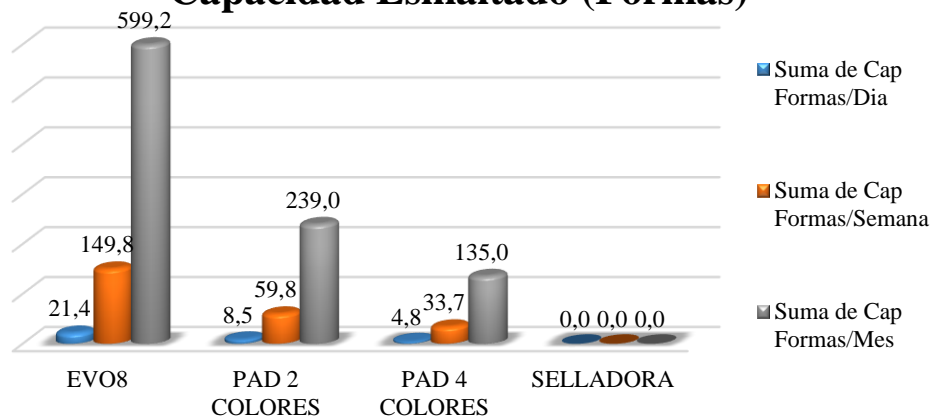


Ilustración 8
Capacidad Esmaltado Formas
Fuente: Elaboración Propia

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

Capacidad Esmaltado (Piezas)

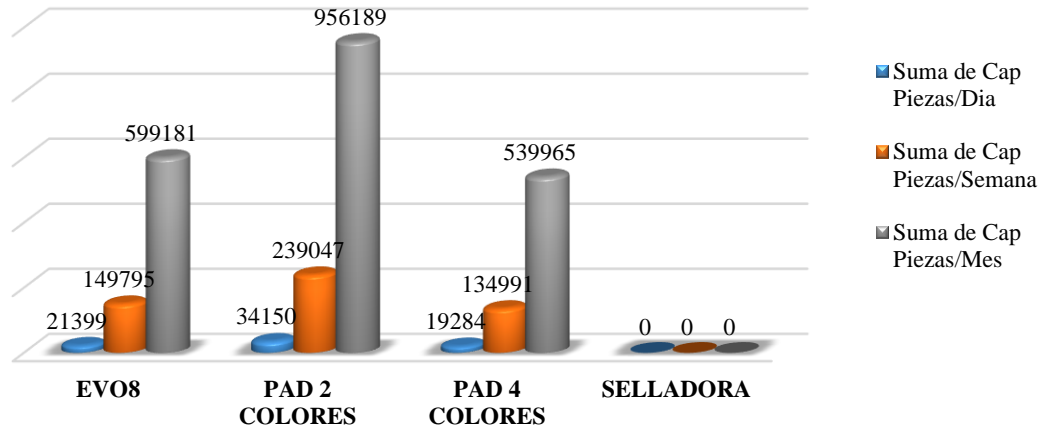


Ilustración 9
Capacidad Esmaltado Piezas
Fuente: Elaboración Propia

La planta cuenta con gran capacidad en su proceso de esmaltado, por lo que no es necesario utilizar una de las tecnologías, es decir, la selladora por esta razón se muestra cero formas y piezas esmaltadas.

Mesas Necesarias Para Formación

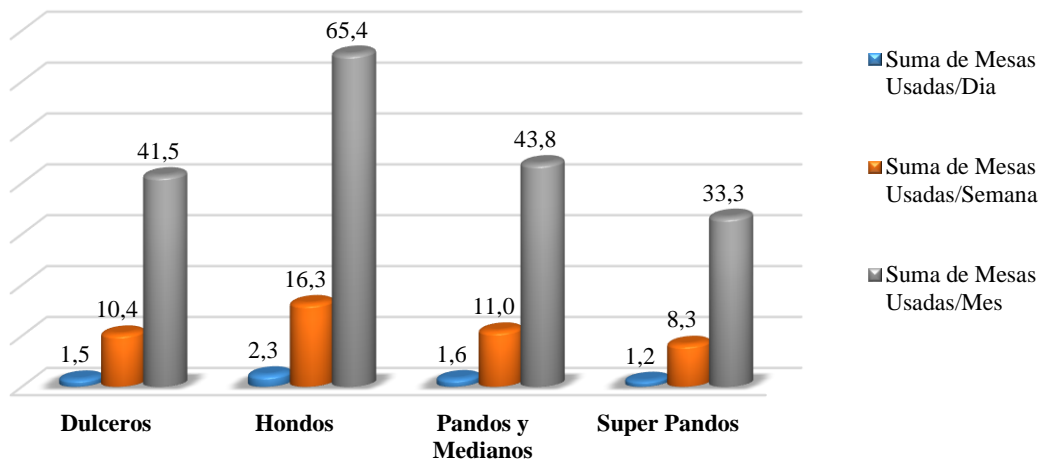


Ilustración 10
Demanda De Mesas
Fuente: Elaboración Propia

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

Capacidad Moldes Fabricados

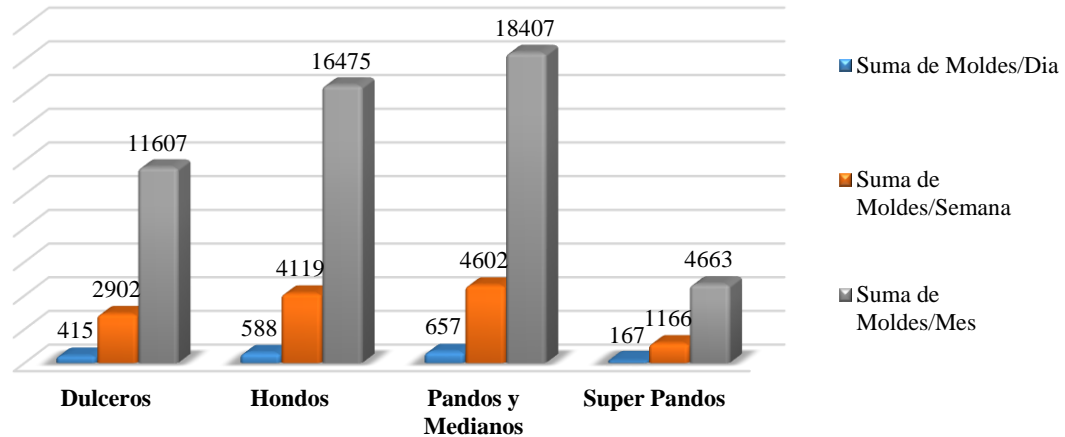


Ilustración 11
Capacidad Moldes
Fuente: Elaboración Propia

Al igual que la planta de esmaltado, moldeado también cuenta con capacidad suficiente para atender la demanda de la formación y para realizar la reposición del Kanban.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

- Iniciar la practica empresarial a partir de la recolección de información usando el ERP SAP, permitió entender la estructura general de la compañía y focalizar puntos críticos del proceso de producción de la planta de platos-loza. Se realizo un análisis de modo y efecto de falla (AMEF) para garantizar la confiabilidad de los datos suministrados, los cuales actualmente en Locería Colombiana S.A.S cumplen con un 99% de veracidad, en 1% restante corresponde a pequeñas actividades que no están 100% digitalizadas.
- Mediante el uso de herramientas de programación lineal utilizando Solver de Excel se logró incorporar la función objetivo y restricciones propuestas evidenciando las capacidades de la planta, cumpliendo las condiciones y restricciones indicadas lo que aplicado en su debido momento en la realidad de los procesos permitirá tener un line *fill rite* igual o mayor al 95% en junio de 2022. Igualmente, otro de los beneficios esperados será el cumplimiento de las ordenes de producción el cual en el mes de febrero de 2022 se mantuvo en un intervalo del 75% al 89% y con el modelo de toma de decisiones se pretende lograr un cumplimiento del 95.24% al 100%. Con el método y las herramientas planteadas dentro de la práctica empresarial se logra evidenciar el uso de métodos de ingeniería industrial para la resolución de problemas identificando las fortalezas y debilidades de la planta, así como oportunidades y amenazas que tiene la empresa, señalando el camino que se debe seguir para lograr los objetivos propuestos.
- Con base en los resultados de las capacidades de los modelos, se logran dar recomendaciones al área de mercadeo, la cual se encarga del portafolio de la compañía, es decir, toman la decisión de activar, poner referencias obsoletas e incluso el cambio de portafolio, en otras palabras, pasar de MTS a MTO o viceversa. Se presenta una lista de 297 referencias de productos terminados (PT´S) que pasan por alguna de las tecnologías las cuales cuentan con un consumo promedio diario de cero, esto significa que no tienen un movimiento que justifique la producción de dichos lotes. Otra decisión que puede tomar mercadeo es pasar las decoraciones con menos rotación a una forma que si tenga un consumo alto, esto permitiendo eliminar un lote que para la planta es obsoleta, pero conservando dicha decoración.
- Finalmente, una recomendación para el área de producción, la cual implica una negociación con el jefe de planta para replantear los lotes mínimos y así mismo permitir el montaje de mayores lotes de producción. Para esta sugerencia es necesario tener claro que la disminución de los lotes mínimos implica un mayor tiempo en el cambio de referencias o lotes (*SetUp*), razón por la cual se debe considerar inicialmente una negociación con el área de mercadeo. Si las recomendaciones son atendidas de acuerdo al modelo de toma de decisiones propuesto, la planta nunca se verá estallada en producción y se lograrán todos los objetivos mencionados en el informe de práctica, siendo el principal, atender al 100% del portafolio cumpliendo con todas las restricciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CMG Consultores. (2021). Obtenido de <https://cmgconsultores.com/demanddrivenscm/demanddrivenmrp/>
Hayes, A. (08 de Noviembre de 2020). *Investopedia*. Obtenido de <https://www.investopedia.com/terms/m/make-to-order.asp>
- Jara, L. (03 de Noviembre de 2015). Obtenido de <https://observatorio.unr.edu.ar/utilizacion-de-la-capacidad-instalada-en-la-industria-2/#:~:text=La%20capacidad%20instalada%20es%20el,equipos%20de%20producci%C3%B3n%2C%20instalaciones%2C%20recursos>
- Microsoft. (2022). *Microsoft*. Obtenido de <https://support.microsoft.com/es-es/office/definir-y-resolver-un-problema-con-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>
- Quiroa, M. (07 de Febrero de 2021). *Economipedia*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/teoria-de-las-restricciones.html>
- Segal, T. (25 de Noviembre de 2020). *Investopedia*. Obtenido de <https://www.investopedia.com/terms/m/make-to-stock.asp>
- Universia. (16 de Octubre de 2020). Obtenido de <https://www.universia.net/co/actualidad/empleo/portafolio-de-servicios-ejemplo-para-que-aprendas-a-hacerlo.html>
- VERTICAL, THINK. (21 de Enero de 2019). *MODULA*. Obtenido de <https://www.modula.eu/blog/es/programacion-de-la-produccion-en-3-pasos-sencillos/#:~:text=La%20programaci%C3%B3n%20de%20la%20producci%C3%B3n%20se%20o cupa%20de%20definir%20los,detalle%20y%20diferentes%20horizontes%20temporales>.
- Westreicher, G. (17 de Junio de 2021). *economipedia*. Obtenido de <https://economipedia.com/definiciones/programacion-lineal.html>