

“Programación binivel para un problema de producción flow shop en la industria cerámica”

Patiño Nieto, Luz Marina (1º Autor)*

*Facultad de Matemáticas e Ingenierías, Fundación Universitaria Konrad Lorenz.
Carrera 9Bis #62-43 Bogotá Colombia. luz.patino@konradlorenz.edu.co.*

RESUMEN.

La programación de dos niveles tiene variedad de aplicaciones prácticas en muchos campos. Sin embargo, hay pocos estudios sobre los problemas de dos niveles de programación. El principal objetivo de este proyecto es desarrollar un modelo de programación en una empresa del sector cerámico con programación de dos niveles. El sistema de producción se modela como una línea de flujo flexible donde se debe procesar un conjunto de puestos de trabajo, cada una con el mismo enrutamiento proceso y los puestos que podrían tener varias máquinas. Las decisiones que se optimizan son la secuencia de puestos de trabajo a seguir y la selección de la máquina para cada operación. El modelo propuesto se ocupa de las funciones objetivas relacionadas con la maximización de la eficiencia y los niveles de servicio. Este nuevo enfoque no ha sido ampliamente estudiado y que se diferencia de los modelos tradicionales, donde sólo hay un tomador de decisiones.

Palabras Claves: Programación, programación binivel, flow shop flexible.

ABSTRACT

Bilevel programming have plenty of practical applications in many fields. However, there are few studies on bilevel scheduling problems. The main objective of this project is to develop a bilevel programming scheduling model for a ceramic company in Bogotá, Colombia. The production system is modelled as a Flexible Flowshop where a set of jobs must be processed, each one with the same process routing, and stations that might have several machines. The decisions to be optimized are the sequence of jobs to be followed and selecting the machine for each operation. The proposed model deals with objective functions related with maximization of efficiency and service levels. This novel approach has not being extensively studied and it differs from the traditional models where there is only one decision maker or decision level.

Keywords: Production scheduling; flexible flow shop; bilevel programming.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso de programación de la producción es considerado la asignación secuencial de los pedidos a un grupo de equipos. Las tareas en estos equipos pueden seguir un orden o no dentro del grupo del proceso de producción. Por lo anterior el problema tradicional que se presenta en las organizaciones en la decisión de la secuenciación de tareas óptima para la organización. Este proceso en la empresa de cerámicos puede considerarse como gran consumidor de recursos en dimensiones como: Costo, Calidad, Tiempo, Entregas, Instalaciones, Flexibilidad e Innovación.

Por lo anterior, se propone el diseño de un modelo de programación binivel para aumentar y mejorar los niveles de servicio. Con estas estrategias se espera aumentar significativamente la productividad del proceso de tal forma que se disminuya el consumo de recursos innecesarios de la operación y se aproveche la tecnología para la comunicación continua de la planta.

La mejora en las medidas de desempeño y la utilización del modelo binivel permitirá a la empresa reducir los costos en la programación de la producción, al igual que impactará en la reducción de órdenes de producción fuera de la meta organizacional.

En la actualidad existen investigaciones que discuten el modelo adecuado para la programación de la producción, dado que exponen las dificultades en el proceso de la toma de decisiones en las industrias para la asignación de recursos a las operaciones productivas. Igualmente se puede decir según Collier & Evans [1] que en su gran mayoría las empresas requieren identificar las características de la programación para resolver la problemática de la asignación adecuada en los diferentes niveles y recursos de operaciones.

Igualmente se existe el interrogante de cómo se puede hacer uso de nuevas tecnologías para que sea más ágil y eficiente un modelo de programación, el cual permite evaluar los efectos económicos y operacionales de los pedidos a elaborar. Tales decisiones resultan importantes por sus consecuencias económicas y operacionales para las empresas de cualquier sector, representando este un problema de carácter genérico para la gran mayoría de las industrias.

En este orden de ideas cabe resaltar que existe la necesidad de realizar estudios; y proponer el uso de nuevas metodologías y herramientas de programación de la producción para optimizar las metas, recursos y actividades en las empresas; que al ser estas posibles soluciones llevadas al área de operaciones, resultan significativas en la minimización de múltiples objetivos como los costos, tiempos de producción, instalaciones e inventarios.

De lo anterior surge la necesidad e importancia de profundizar en este proyecto de investigación para desarrollar un modelo de programación de la producción en empresas manufactureras del sector de cerámicos. Dado que todo lo anterior conlleva a la revisión de cómo planificar, organizar y controlar una línea de recursos para satisfacer las solicitudes de clientes con un alto nivel de servicio; y a la organización con indicadores de productividad razonables. Rakhma & Retno [2].

Igualmente porque es común que en algunas organizaciones industriales establezcan el orden en el que se llevará a cabo las tareas y las órdenes de pedidos de los clientes. Con el fin de obtener el uso adecuado de recursos del sistema de producción e incrementar los altos niveles de medidas de desempeño industrial.

Finalmente es necesario reiterar que los recursos presupuestados en este proyecto son propios para la ejecución del mismo y son consumibles durante los 12 meses de duración. Igualmente aplica para los equipos, herramientas e insumos los cuales son 100% exclusivos para la infraestructura y pruebas experimentales contempladas para este proyecto.

2. ESTADO DEL ARTE.

En la actualidad existen diferentes investigaciones encaminadas al objetivo principal del presente proyecto de investigación, dicha información es muy pertinente ya que es muy amplia y aplicada al modelado de sistemas empresariales en diferentes sectores industriales. Igualmente considerando a los autores Pinedo & Brucker [3] quienes manifiestan en sus documentaciones que las técnicas de programación y algoritmos de programación de la producción se han convertido en una necesidad para la supervivencia de las empresas, para cumplir con las fechas de envío que se han propuesto a los clientes, y que el no hacerlo acarrearía una pérdida significativa.

Es decir que la problemática en estudio de este proyecto se despliega en el contexto industrial y en particular la problemática encontrada en las fuentes investigadas va enfocada a la determinación de la planeación óptima de la producción. Los expertos Robles & Vázquez [4] señalan, a propósito de ello, que es un área relativamente nueva. La programación lineal ha sido utilizada para solucionar la planeación de algunos proyectos coordinados en la producción. Hay que destacar de estas investigaciones que el problema central se origina al momento de decidir el pedido por fabricar, ya que se deben considerar los rendimientos de la materia prima, de manera tal que se optimice el aprovechamiento y rentabilidad de la empresa. Romero, Poblete, & Baesler [5].

Con el objetivo primordial de orientar el trabajo realizado en esta propuesta de investigación se propone a lo largo de este informe, diferentes investigaciones que justifican el interés del autor por el desarrollo de proyectos del área en la gerencia de operaciones para las industrias manufactureras.

A su vez Pinedo [4] propone el concepto acerca de la teoría en dónde se manifiesta que la programación es un proceso de toma de decisiones que se utiliza de forma regular en muchos las industrias manufactureras y de servicios. Relaciona la asignación de recursos a las tareas durante períodos de tiempo determinados y su objetivo es optimizar uno o más objetivos. Finalmente destaca que los recursos y las tareas de una organización pueden tomar muchas diferentes formas tales como: máquinas, instalaciones, mano de obra, unidades en proceso, tecnología en fin operaciones en un proceso de producción.

Considerando todo lo anteriormente expuesto este tipo de investigación sirve de soporte gerencial para el manejo adecuado de la estrategia operacional. Por ello Miltenburg [6] manifiesta las seis principales dimensiones en este campo de la medición del desempeño, las cuales son utilizadas al formular la estrategia de manufactura. Estas dimensiones son: Costo, Calidad, Rendimiento, Entregas, Flexibilidad E Innovación.

Hay que tener en cuenta que los logros de los diferentes autores en relación con el tema de investigación se encuentran encaminados según Castro Z. & Vélez G. [7] a la selección de un sistema de programación de producción. En dónde se comprende y se analiza aspectos relevantes de la producción con el fin de tomar la decisión más acertada sobre el tipo de sistema que se va a implementar. Igualmente el autor señala que el identificar un sistema productivo puede generar un punto crítico dentro de este proceso. Por esta razón, conocer las estrategias de manufactura, identificar los diferentes tipos de sistemas productivos y de programación, se hace cada vez más imprescindible y apropiado.

Las investigaciones existentes tienen dimensiones encaminadas al diseño de metodologías conceptuales que permiten a las empresas además de seleccionar el tipo de sistema de programación, lograr identificar estrategias, tipo de sistema productivo, configuración productiva y sistema de programación que permiten obtener las metas y objetivos trazados por la organización y, por consiguiente, ventajas competitivas que le aseguren su supervivencia a largo plazo. Castro Z. & Vélez G [7].

Igualmente es importante señalar que la programación de la producción se clasifica de acuerdo a la configuración de producción; para esta investigación es necesario mencionar que se abarcará la temática de un sistema Flow Shop conocido como secuenciación de tareas en sistemas de configuración lineal. Las características primordiales son producción: N tareas en M máquinas, a escala media, enfocada al proceso, flexible de programación, con configuración encaminada a la optimización.

En general los problemas de Flow Shop se han tratado en diferentes investigaciones. Algunos resultados del uso de esta técnica que se pueden citar son:

- Ebrahimi, Fatemi Ghomi, & Karimi, [8] estudian el problema de programación en un taller de flujo híbrido para la minimización del makespan.
- Choi y Wangb [9] presentan un algoritmo que minimiza el makespan, basado en la descomposición enfoque (DBA), combinando el tiempo de procesamiento más corto (SPT) y el mínimo de flujo flexible (FFS). Choi y Wangb [9]
- (Kianfar , Fatemi Ghomi, & Oroojlooy Jadid [10], en este trabajo se estudia un sistema de programación de flujo flexible, teniendo en cuenta la llegada no determinista, puestos de trabajo dinámicos y secuencias de tiempos de preparación dependientes. El objetivo del problema determinar el menor tiempo promedio de puestos de trabajo.

De igual modo cabe resaltar en esta investigación los problemas Flow Shop Flexible el cual consiste en un sistema de programación para el flujo de procesamiento en serie y cada etapa tiene una o más máquinas paralelas idénticas. Entre sus variables de estudio primordiales se encuentran: los productos son diferentes y deben ser procesados en su respectiva máquina, la secuencia de trabajo debe es la misma para todo el proceso, los procesos se realizan en varias tareas simultáneamente pero se debe tener en cuenta la secuencia, el tiempo de procesamiento de cada tarea depende de la etapa, y finalmente un trabajo de producción no puede ser interrumpido.

Conviene también mencionar que los estudios en problemas de programación binivel (Bilevel programming problem, BLPP) dado que estos se caracterizan por dos, o más niveles jerárquicos de decisión, cada uno de ellos con un punto de vista que puede ser diferente, y las decisiones de cada uno afectan al otro (Bialas & Karwan [11]. La optimización binivel está relacionada con los conceptos desarrollados por Stackelberg [12] en la teoría de juegos. Un BLPP se puede considerar como un juego estático no cooperativo con información perfecta entre dos jugadores que buscan optimizar sus beneficios.

Algunas de las características de un BLPP Bard, 1998 [13] se mencionan a continuación:

- Dentro de una estructura jerárquica interactúan unidades de decisión.
- La unidad inferior ejecuta sus políticas después, y considerando, las decisiones de la unidad superior.
- No se permite hacer acuerdos entre las partes, es decir, cada nivel optimiza beneficio neto o costos netos de forma independiente.

- En la función objetivo y en el conjunto de soluciones factibles se refleja el efecto de la unidad superior en el problema de la unidad inferior.

Revisando las aplicaciones de los problemas de programación de producción pueden ser descritos a través de este marco conceptual. Sin embargo, los desarrollos en este campo han sido pocos Kis & Kovács [14]. En general los problemas de programación de producción se han tratado como problemas de un solo nivel de decisión, el cual puede tener una o más funciones objetivo. Algunos resultados del uso de BLPP que se pueden citar son:

- Karlof & Wang [15] desarrollaron un modelo para un sistema flow shop en el cual el nivel superior tiene como objetivo minimizar el tiempo total de flujo mientras que el nivel inferior desea minimizar el makespan.

- Lukač, Šorić, & Rosenzweig, [16] aplicaron BLPP a un sistema compuesto de dos máquinas con tiempos de alistamiento dependientes de la secuencia. En el nivel superior se pretendía minimizar el tiempo total de alistamiento y en el nivel inferior minimizar los costos asociados a la producción, almacenamiento y alistamiento de las máquinas.

- Kis & Kovács [14] proponen un conjunto de potenciales aplicaciones del BLPP en la programación de producción para configuraciones de una máquina y máquinas paralelas, para los cuales proponen dos categorías de clasificación de los problemas. La primera para aquellos en los cuales las funciones objetivo de los niveles son del mismo tipo, por ejemplo minimizar el tiempo total de terminación. La segunda con funciones objetivo diferentes, por ejemplo minimizar el makespan en un nivel y minimizar el número de trabajos tardíos en el otro. El estado actual de la investigación en este campo evidencia el potencial de generación de nuevo conocimiento.

En los últimos años Jiang, Li, Jianyi, & Liangxi, [17] se han realizados estudios de algoritmos de programación de la producción aplicados en diferentes sectores, estos con problemáticas en la jerarquización y optimización en la asignación de sus recursos. Por lo anterior es necesario resaltar que de acuerdo a lo consultado, este tipo de aplicaciones de modelos binivel en un sistema de producción flow shop en el sector cerámico no se ha realizado.

3. EL PROBLEMA EN ESTUDIO.

En el caso particular de estudio para este proyecto, la compañía en dónde se realizará el trabajo de modelamiento con Binivel, es una del grupo de empresas de la Organización más grande en Colombia en la industria de Cerámicos; dedicada a la producción de insumos y materias primas del sector cerámico. Actualmente en ambos niveles empresariales presentan inconsistencias en el desarrollo de sus operaciones por la falta de procedimientos para definir la programación de la producción con configuración flow shop flexible. Además porque la administración de la operación se hace de carácter intuitivo y de acuerdo a las múltiples y diferentes metas de la organización y la industria general productora de productos cerámicos.

Con respecto a lo expuesto anteriormente se realiza el siguiente mapa de argumento de la Figura 1 el cual detalla las diferentes metas en múltiples niveles de jerarquización para la empresa de decorados cerámicos. El gráfico ayuda para reconocer, explicar y analizar las relaciones existentes entre cuáles son las razones (a favor) y objeciones (en contra) de las problemáticas actuales de la empresa. Y a su vez relaciones con las refutaciones que finalmente justifican la problemática planteada inicialmente; un modelo de programación binivel como solución.

Los indicadores de productividad actuales de la organización son buenos ya que trabajan con otras técnicas de planeación, programación y control de la producción. Pero que lamentablemente están dejando vacíos que pueden mejor utilizados a través de modelamiento para la optimización de los recursos de ambas organizaciones.

La pregunta de investigación es: ¿En qué medida un modelo de programación de producción permite mejorar las medidas de desempeño en la fabricación de materias primas e insumos para productos cerámicos?

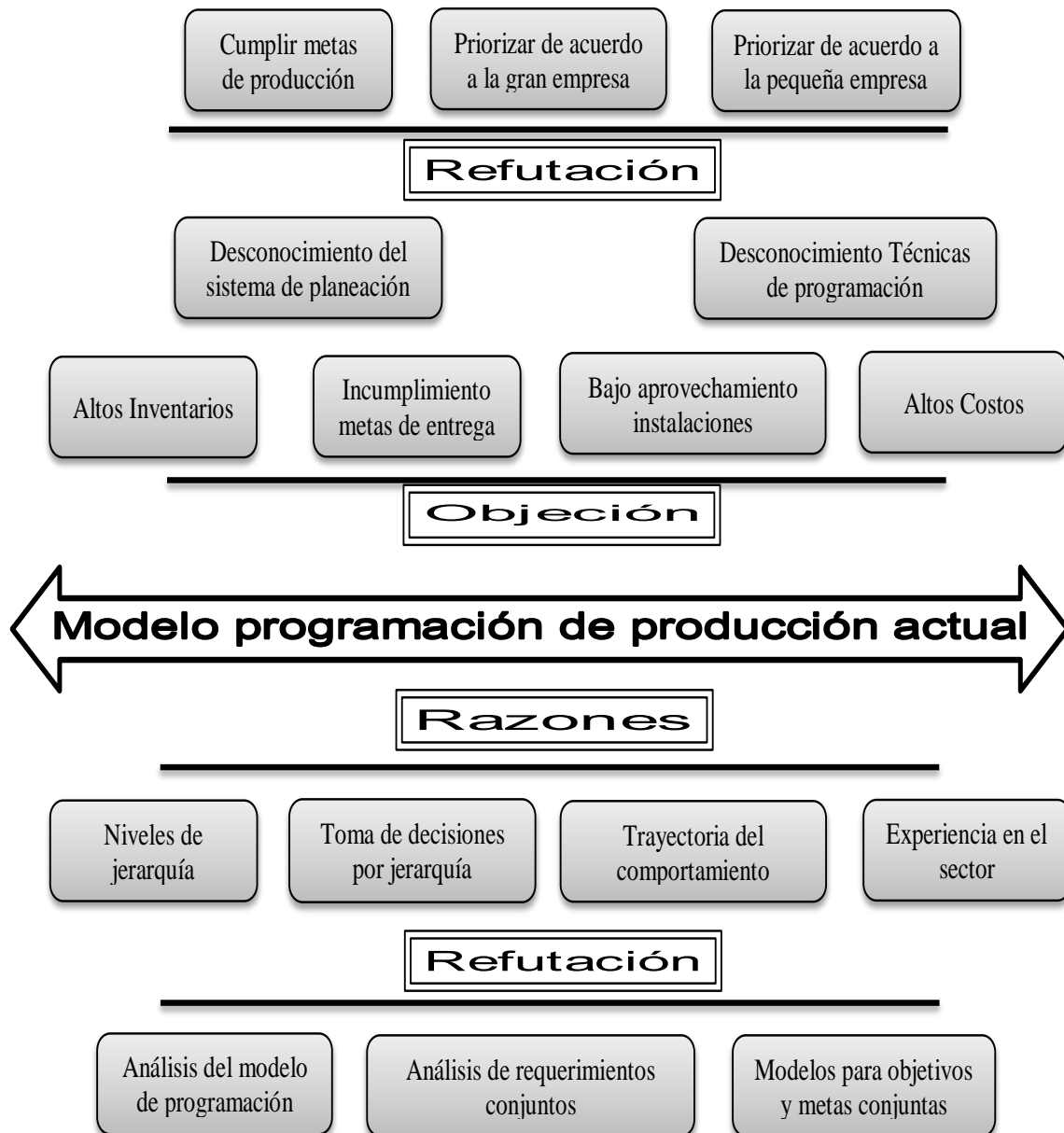


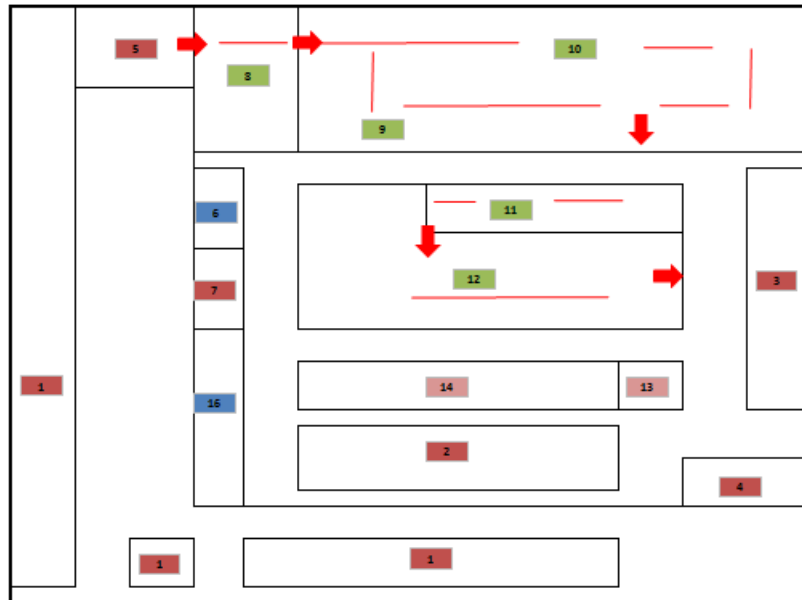
Figura 1 Mapa de argumento del modelo.

4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

La información presentada hasta el momento sirve para detallar que la organización de cerámicos es catalogada como líder de acuerdo al estado del arte para efectos del presente proyecto, por lo tanto los resultados futuros de este trabajo satisfacerla en las necesidades o requerimientos para optimizar la función o meta objetivo que se planteen en el modelo.

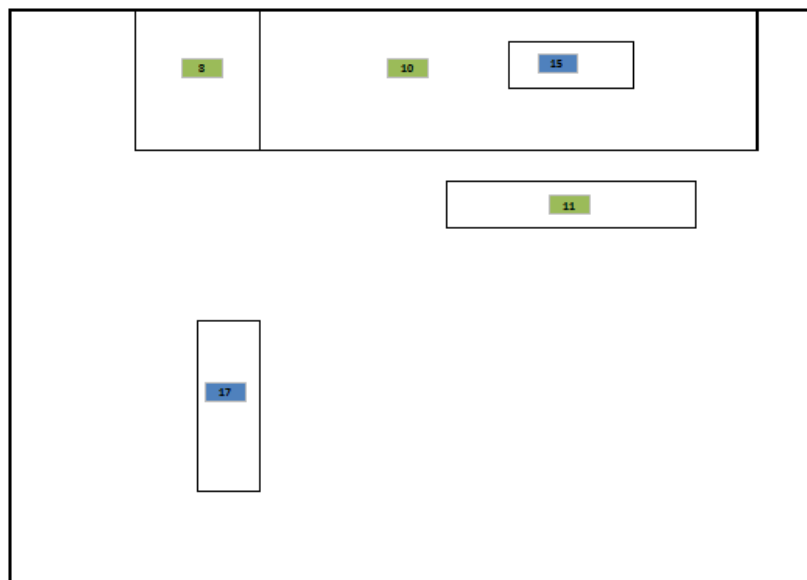
Por consiguiente es necesario iniciar con un análisis detallado del sistema de producción catalogado como seguidor en el proceso de modelamiento binivel, en este caso la pequeña organización encargada de suministrar los insumos y materias primas a la organización es el líder en la representación del modelo. Por lo anterior se procedió a analizar la información del sistema productivo para garantizar cual es la configuración de producción que posee. Además porque se requiere garantizar variedad y calidad en los productos de insumos al igual que las características técnicas y específicas tales como: propiedades mecánicas, resistencia a productos de limpieza, antideslizante, brillo, color, opacidad entre otros.

Igualmente al analizar la información del layout de la empresa representado en la figura 2; se encuentra básicamente la forma en la que se organiza el sistema de producción en estudio, se distinguen las distintas áreas, equipo y secciones etc., de un espacio físico. Finalmente se puede apreciar que el proceso está conformado por una serie de actividades las cuales se resaltan en color rojo en el esquema. En esta figura se detalla la distribución en planta del proceso de fabricación de insumos y materias primas para productos cerámicos de la organización catalogada como seguidor.



1	ALMACEN DE MATERIAS PRIMAS
2	PRELISTAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS
3	ALMACENAMIENTO DE PRODUCTO TERMINADO
4	PLATAFORMA DE CARGUE Y DESCARGUE
5	CARGUE DE MATERIA PRIMA
6	LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD
7	ALMACEN DE OTROS MATERIALES
8	TOLVAS

9	DISPERSORES
10	MOLINOS
11	TAMICES
12	TANQUES DE ENGOBE Y ESMALTE
13	MOLINOS
14	TANQUES DE TINTAS
16	OFICINAS



8	TOLVAS
10	MOLINOS
11	TAMICES
15	OFICINA Y LABORATORIO DE MOLIENDA
17	OFICINAS

Figura 2 Distribución en planta del proceso de fabricación de insumos y materias primas

5. EXPERIMENTACIÓN.

Para el desarrollo del modelo de programación de producción, solo se tendrán en cuenta los procesos que se llevan a cabo en las áreas de producción de engobes y esmaltes. El proceso a realizar se refleja en la siguiente figura 3.

Además es importante mencionar que la organización busca establecer el sistema de programación de la producción, determinar las fechas de previstas para la entrega de los pedidos, fechas de inicio y terminación, y determinar la cantidad de unidades de productos durante el proceso. Así mismo de manera objetiva la optimización en el uso de recursos, disminución en los costos para generar mayores utilidades, aumento en los niveles de servicio y la satisfacción del cliente.

Existe la necesidad de nuevas alternativas para mejorar la operación, la productividad, la competitividad, los niveles de servicio entre otros. Dado que su programación está organizada

desde el lineamiento de primeras en entrar, primeras en programar o regla de despacho tipo FIFO (first in, first out).

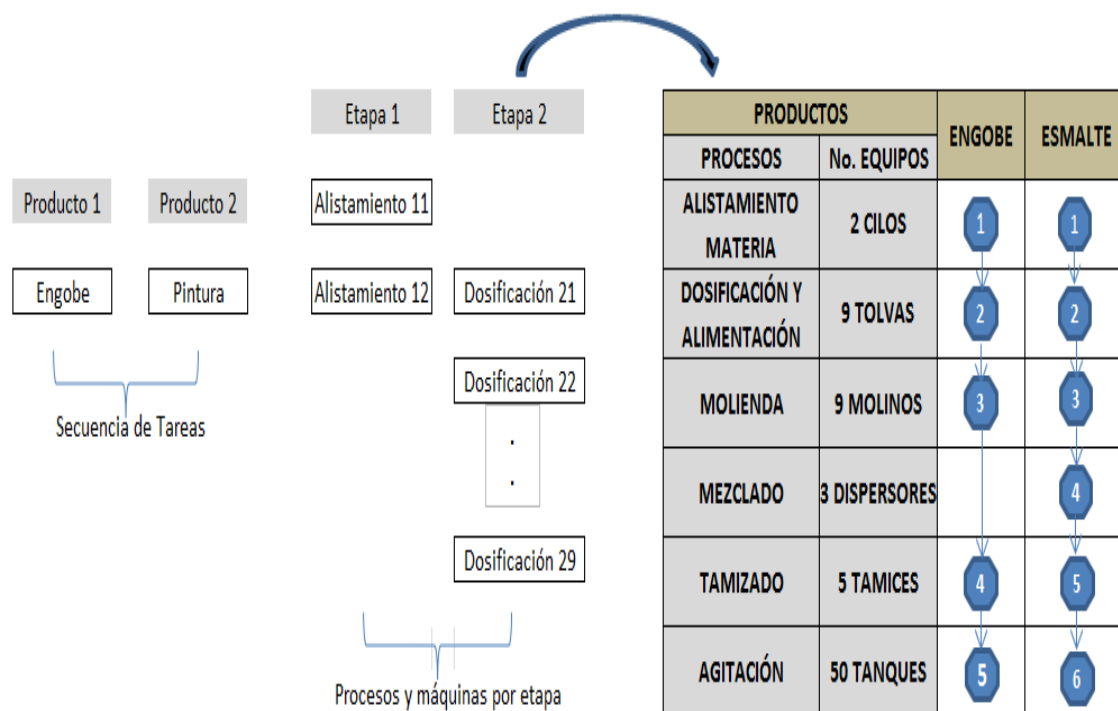


Figura 3 Diagrama de configuración de maquinaria y procesos.

Por lo anterior en esta investigación se requiere evidenciar que existen jerarquías y relaciones entre objetivos, requerimientos, criterios a alcanzar entre las compañías. Igualmente existe la necesidad de determinar las medidas de desempeño. Además la identificación y verificación del procedimiento o modelo de programación para incrementar los niveles de producción y la evaluación de los historiales de requerimientos e indicadores de productividad como se puede apreciar en la figura 4.

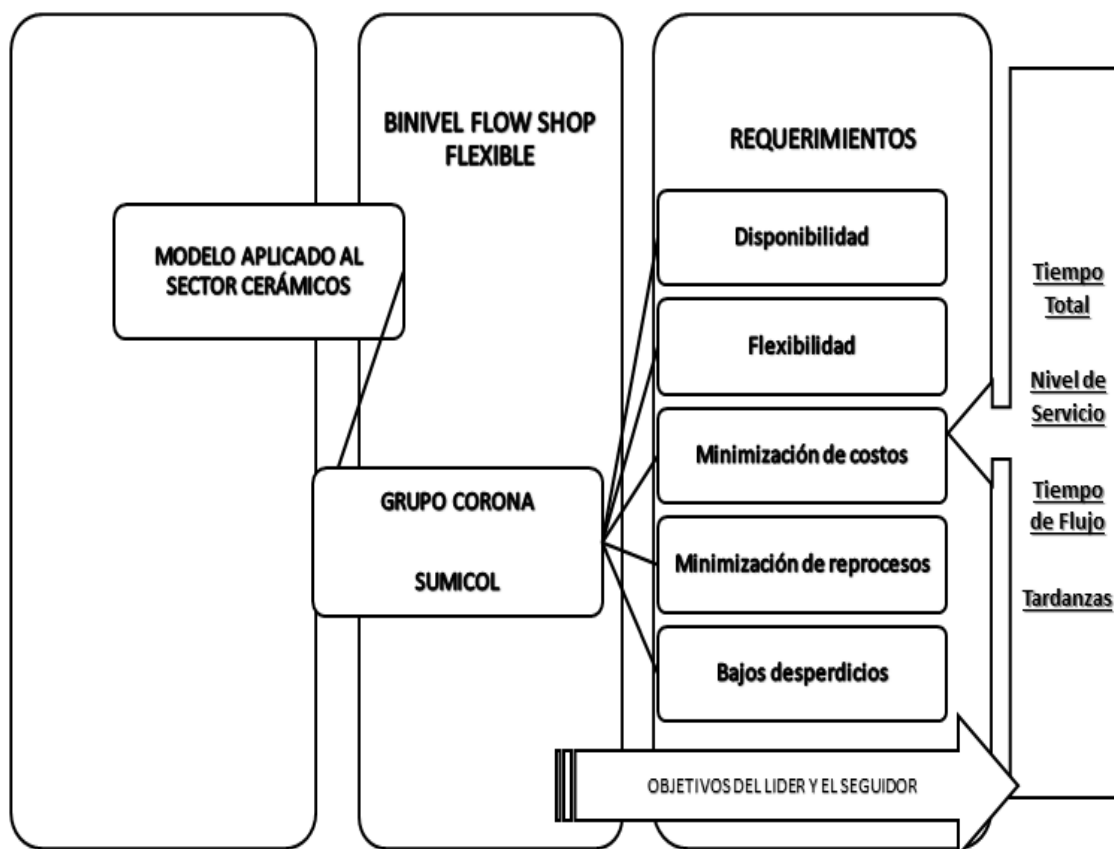


Figura 4 Diagrama de requerimientos e indicadores del modelo de programación.

En conclusión, se justifica el diseño de un modelo para la programación de secuencias de tareas en líneas de flujo con máquinas en paralelo, que beneficie a la empresa en el uso adecuado de sus recursos, cumplimiento con los requerimientos de cantidad, calidad y entrega. Y en particular aumentar el nivel de satisfacción y confianza de los clientes con la empresa para solucionar el problema de secuenciación de tareas en líneas de flujo con máquinas en paralelo – Flow Shop Flexible

6. RESULTADOS ESPERADOS.

Se desarrollara este proyecto en un periodo de tiempo de un año y medio. Con diferentes fases de resultados y productos como se pueden ver a continuación en tabla 1 y figura 5:

Primera Fase – Productos de la Investigación

- Contar con información confiable y actualizada para la caracterización de variables del modelo, el diseño del modelo y la validación del modelo.
- Aportar un modelo para determinar el sistema de programación de la producción a disposición de las industrias como una herramienta de trabajo en el área operacional.
- Contribuir a identificar las fallas en la programación de la producción en cualquier sistema de producción lineal del sector industrial estudiado

Segunda Fase – Divulgación de la Investigación

- Presentación del modelo a nivel industrial y a nivel académico.

Tercera Fase – Publicación de la Investigación

- Publicar artículo de resultados de la Investigación.

Tabla 1. *Resultados esperados correspondientes a los objetivos de investigación primera fase.*

OBJETIVO GENERAL	
Diseñar un modelo de programación de la producción para una empresa productora de insumos y materias primas de decorados cerámicos; con el fin de mejorar las medidas de desempeño asociadas a la eficiencia y niveles de servicio.	
OBJETIVOS ESPECIFICOS	RESULTADOS ESPERADOS
Realizar una revisión de literatura relacionada con modelos de programación de producción para sistemas de producción similares al estudiado.	<ul style="list-style-type: none"> • Contar con información confiable y actualizada para la caracterización de variables del modelo, el diseño del modelo y la validación del modelo. • Desarrollar el análisis a través de un Modelo Sistémico.
Caracterizar el sistema de producción para determinar los parámetros, variables, restricciones y objetivos que afectan la toma de decisiones del sistema en la programación de producción.	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización de causas, variables, factores y los índices o niveles de desempeño.
Definir un modelo matemático de programación flow shop binivel considerando las particularidades del sistema.	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar el modelo de programación.
Validar y evaluar el desempeño el modelo matemático de programación propuesto en relación a los objetivos identificados.	<ul style="list-style-type: none"> • Contribuir a identificar las fallas en la programación de la producción en cualquier sistema de producción lineal del sector industrial estudiado. • Validar el modelo de programación. • Determinar los Indicadores o medidas de desempeño más productivas.

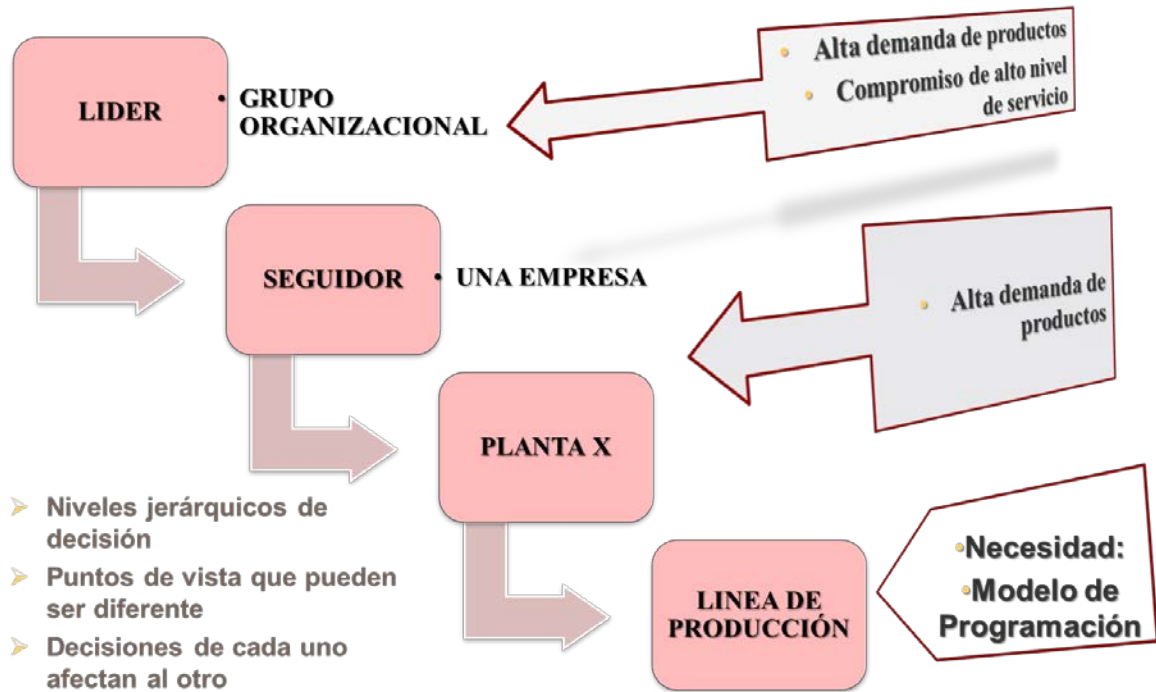


Figura 5 Esquema del modelo binivel.

Finalmente se puede concluir que este proyecto ofrece a los empresarios del sector manufacturero una mejor oportunidad para la toma de decisiones como se puede apreciar en la figura 6, para el desarrollo operacional de los productos, buscando la optimización de los recursos físicos y financieros. Adicionalmente con este proyecto se aporta una técnica que contribuye a la escogencia adecuada de la estrategia operacional, el sistema de producción conveniente y el tipo de programación de la producción acertada para la identificación de los indicadores de productividad más favorables para la industria.

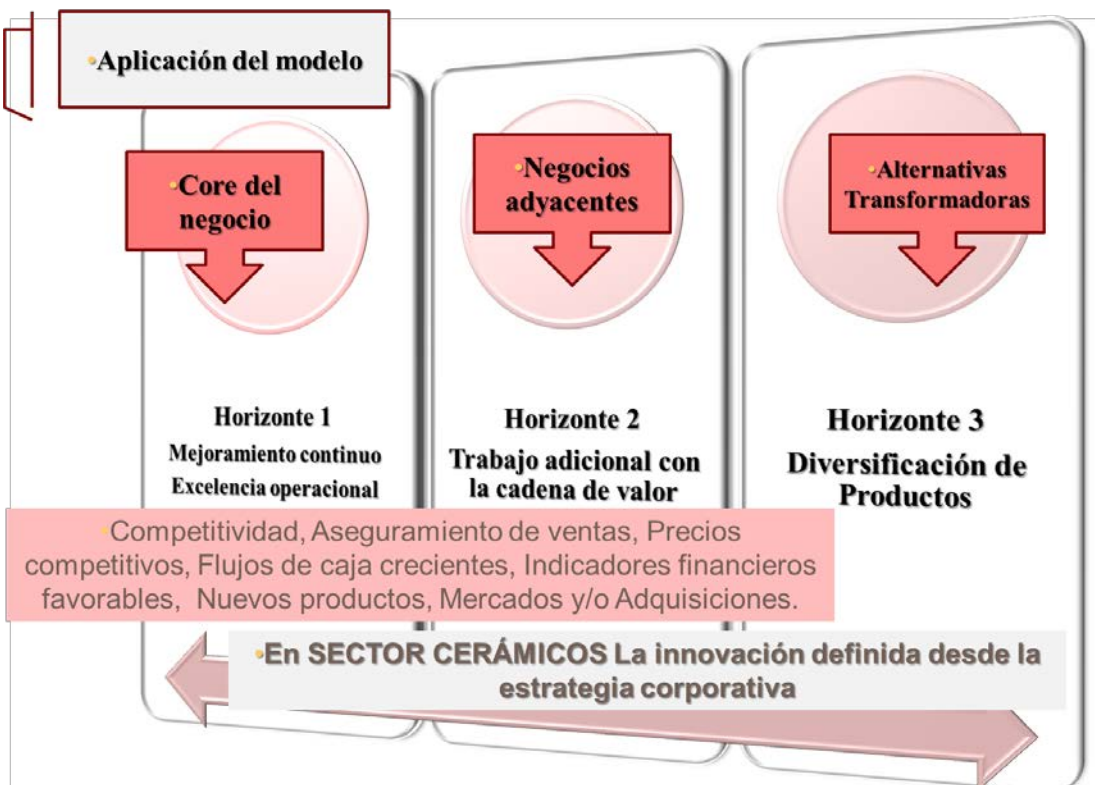


Figura 6. Requerimientos en el modelo para la mejora organizacional.

7. CONCLUSIONES.

En la revisión de literatura arrojó que este estudio actualmente no se trabaja en Colombia y toda la información reportada está relacionada con modelos de programación de producción para sistemas de producción similares al estudiado.

Con el diseño de un modelo de programación de la producción toda empresa productora de insumos y materias primas de decorados cerámicos; mejorará las medidas de desempeño asociadas a la eficiencia y niveles de servicio.

Caracterizando el sistema de producción se determinan los parámetros, variables, restricciones y objetivos que afectan la toma de decisiones del sistema en la programación de producción.

La definición del modelo matemático de programación binivel para un flow shop flexible considera las particularidades del sistema para la toma de decisiones en la programación de la producción.

8. REFERENCIAS.

- [1] Collier, D. A., & Evans, J. R. (2009). *Administración de operaciones*. México: Cengage.
- [2] Rakhma, O., & Retno, M. (2013). Decision Support System of Herb's Production Scheduling Based on Good Traditional Medicine Manufacturing Practices (GTMMMP) standard. *ScienceDirect*, 613 - 617.
- [3] Pinedo, M. L. (2008). *Scheduling*. New York: Prentice Hall.
- [4] Robles, O., & Vázquez, R. (2008). Un Modelo de Programación No-lineal para la Planeación de la Producción de Gas y Petróleo. *Información Tecnológica*, 25-32.
- [5] Romero, R., Poblete, M., & Baesler, F. (2004). Modelo De Programación De La Producción Para La Industria Del Aserrió. *Revista Ingeniería Industrial*, 19 - 23.
- [6] Miltenburg, J. (2009). Setting manufacturing strategy for a company's international manufacturing network. *International Journal of Production Research*, 6179 - 6203.
- [7] Castro Z., C. A., & Vélez G., M. C. (2002). Modelo para la selección de un sistema de programación para la producción. *Universidad EAFIT*, 23-32.
- [8] Ebrahimi, M., Fatemi Ghomi, S., & Karimi, B. (2014). Hybrid flow shop scheduling with sequence dependent family. *Applied Mathematical Modelling*, 2490 – 2504.
- [9] Choi, S., & Wang, K. (2012). Flexible flow shop scheduling with stochastic processing times. *Computers & Industrial Engineering*, 362 -373.
- [10] Kianfar, K., Fatemi Ghomi, S., & Oroojlooyjadid, A. (2012). Study of stochastic sequence-dependent flexible flow shop via developing a dispatching rule and a hybrid GA. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 494 - 506.
- [11] Bialas, W., & Karwan, M. (1984). Two-Level Linear Programming. *Management Science*, 1004 - 1020.
- [12] Stackelberg, H. (1952). *The theory of the market economy*. Oxford University Press
- [13] Bard, J. (1998). *Practical bilevel optimization: algorithms and applications*. Dordrecht Boston: Kluwer Academic Publishers.
- [14] Kis, & Kovács, A. (2012). On bilevel machine scheduling problems. *OR Spectr vol. 34*, 43 - 68.
- [15] Karlof, J., & Wang, W. (1996). Bilevel programming applied to the flow shop scheduling problem. *Computers & Operations Research*, 443 - 451.
- [16] Lukač, Z., Šorić, K., & Rosenzweig, V. (2008). Production planning problem with sequence dependent setups as a bilevel programming problem. *European Journal of Operational Research*, 1504 - 1512.
- [17] Jiang, G., Li, G., Jianyi, K., & Liangxi, X. (2013). Production Line Planning Model of Iron and Steel Enterprise. *Journal of Digital Information Management*, 131 - 136.

Agradecimientos

La autora de este trabajo desea agradecer a la organización del sector cerámico por abrir las puertas y dar oportunidades a los estudiantes y profesionales para realizar proyectos enmarcados en el campo de la innovación de investigaciones aplicadas para la industria.

A mi familia Paula, Juanes y Omar, a mis padres, a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en donde realizo mis estudios y a la (Fundación universitaria Konrad Lorenz en donde trabajo como directora, docente e investigadora. Sin ellos no sería posible asignar el tiempo necesario para la realización del proyecto presentado. Igualmente agradezco al COINI por la oportunidad de presentar los avances de investigación y generar redes de conocimiento para el posicionamiento latinoamericano.