

OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA SECCIÓN DE ALAMBRE EN  
ALGAMAR S.A REALIZANDO UNA AGRUPACIÓN CELULAR

Por:  
Mauricio Barrientos Rave

Asesor:  
Emerson Giraldo Betancur

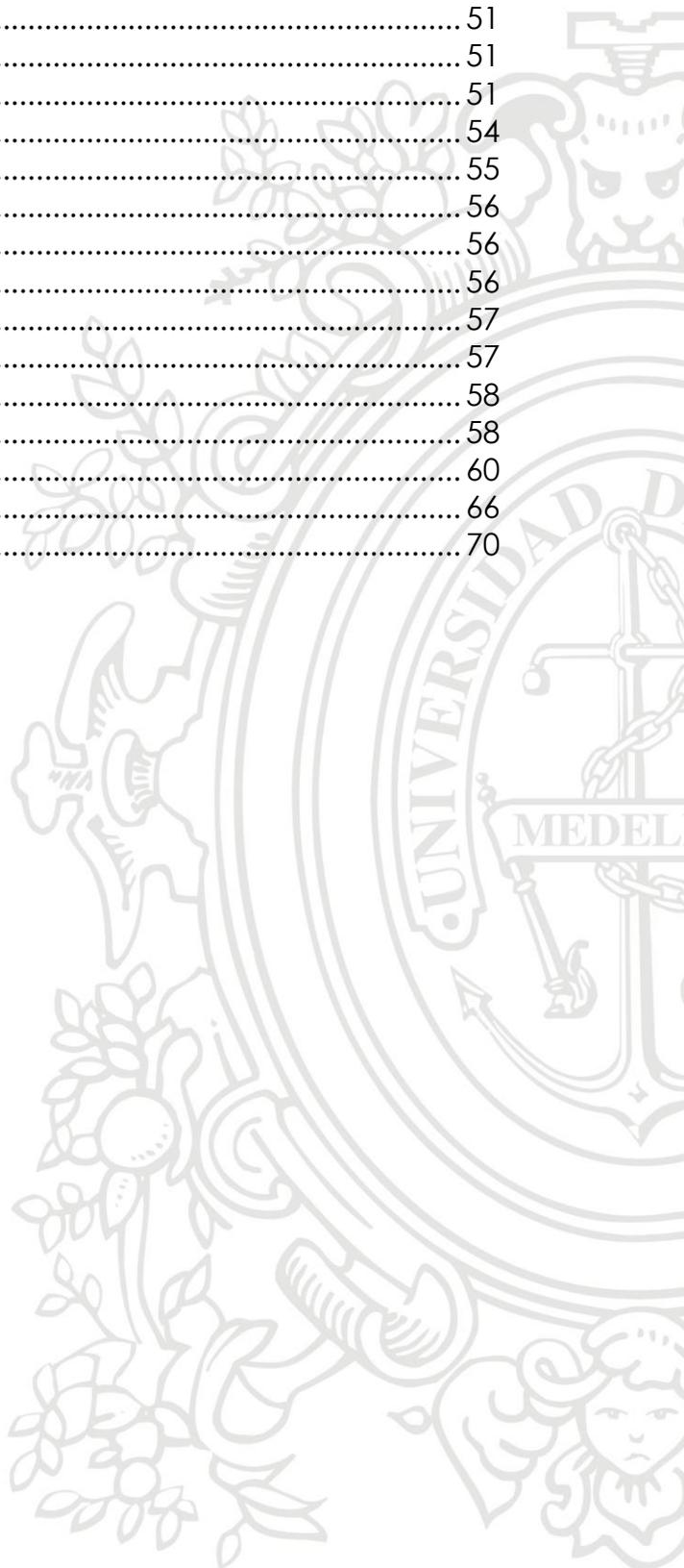
Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero industrial

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Medellín  
2019

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN .....   | 6  |
| INTRODUCCIÓN .....  | 8  |
| OBJETIVO GENERAL.....   | 10 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 10 |
| MARCO TEÓRICO .....   | 11 |
| RESULTADOS Y ANÁLISIS .....   | 22 |
| Caracterización del sistema de producción actual .....                  | 26 |
| Palancas de fabricación actuales .....                                  | 28 |
| <input type="checkbox"/> Recursos humanos.....                          | 28 |
| <input type="checkbox"/> Estructura y control de la organización .....  | 28 |
| <input type="checkbox"/> Aprovisionamiento .....                        | 29 |
| <input type="checkbox"/> Planificación y control de la producción ..... | 29 |
| <input type="checkbox"/> Tecnología de procesos .....                   | 30 |
| <input type="checkbox"/> Instalaciones.....                             | 30 |
| Salidas de fabricación actuales .....                                   | 30 |
| <input type="checkbox"/> Costo .....                                    | 30 |
| <input type="checkbox"/> Calidad .....                                  | 30 |
| <input type="checkbox"/> Rendimiento del producto.....                  | 31 |
| <input type="checkbox"/> Entrega .....                                  | 31 |
| <input type="checkbox"/> Flexibilidad .....                             | 31 |
| <input type="checkbox"/> Innovación .....                               | 31 |
| Caracterización del sistema de producción futuro .....                  | 31 |
| Palancas de fabricación futuros.....                                    | 33 |
| <input type="checkbox"/> Recursos humanos.....                          | 33 |
| <input type="checkbox"/> Tecnología de procesos.....                    | 33 |
| Salidas de fabricación futuras.....                                     | 33 |
| <input type="checkbox"/> Costo .....                                    | 33 |
| <input type="checkbox"/> Rendimiento del producto.....                  | 33 |
| <input type="checkbox"/> Entrega .....                                  | 33 |
| <input type="checkbox"/> Flexibilidad .....                             | 33 |
| <input type="checkbox"/> Innovación .....                               | 34 |
| Definición de líneas de producción y células de manufactura.....        | 34 |
| Coeficiente de Similaridad .....  | 35 |
| Modelo de Optimización .....  | 37 |
| <input type="checkbox"/> Conjuntos .....                                | 37 |
| <input type="checkbox"/> Parámetros.....                                | 37 |
| <input type="checkbox"/> Variables de decisión .....                    | 37 |
| <input type="checkbox"/> Función Objetivo.....                          | 38 |
| <input type="checkbox"/> Restricciones.....                             | 38 |
| Resultados modelo de optimización.....                                  | 38 |
| Balanceo de línea.....  | 39 |
| Reporte de resultados de la simulación .....                            | 44 |
| <input type="checkbox"/> Líneas de fabricación 1 y 2 .....              | 44 |
| <input type="checkbox"/> Célula 1 .....                                 | 45 |

|  |    |
|--|----|
| □ Célula 2 .....                             | 46 |
| □ Célula 3 .....                             | 47 |
| □ Célula 4 .....                             | 47 |
| Capacidad de la nueva distribución .....     | 51 |
| Evaluación de factores de distribución ..... | 51 |
| □ Factor material.....                       | 51 |
| □ Factor maquinaria.....                     | 54 |
| □ Factor hombre .....                        | 55 |
| □ Factor movimiento .....                    | 56 |
| □ Factor espera o almacenamiento .....       | 56 |
| □ Factor servicio .....                      | 56 |
| □ Factor edificio .....                      | 57 |
| □ Factor cambio .....                        | 57 |
| Propuestas de distribución .....             | 58 |
| □ Propuesta 1 (Ver Ilustración 20).....      | 58 |
| □ Propuesta 2 (Ver Ilustración 21) .....     | 60 |
| CONCLUSIONES .....                           | 66 |
| BIBLIOGRAFÍA .....                           | 70 |



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1. Gráfico de volumen- variedad. Tomado de (A. F. Salazar, Vargas, Añasco, & Orejuela, 2010) .....   | 12 |
| Ilustración 2. Cambio de sistema de producción orientado al producto. Tomado de: (B. Salazar, 2017) .....  | 13 |
| Ilustración 3. Diseño de una célula de manufactura. Tomado de: (Fred E. Meyers & P. Stephens, 2006) .....  | 14 |
| Ilustración 4. Sistema de producción Pull. Elaboración Propia .....  | 21 |
| Ilustración 5. Plano actual de la sección de Alambre. Modificado de Planos Algamar S.A .....   | 23 |
| Ilustración 6. VSM actual del proceso para la Cocineta AR-17. Elaboración propia. ....   | 24 |
| Ilustración 7. VSM Futuro-Cocineta AR -17. Elaboración propia.....   | 25 |
| Ilustración 8. Proceso productivo Cocineta AR-17. Elaboración propia.....  | 27 |
| Ilustración 9. Organigrama enfocado en la sección de Alambre. Elaboración propia.....  | 28 |
| Ilustración 10. Interfaz del Algasoft. Tomado de Algasoft Algamar S.A .....  | 29 |
| Ilustración 11. Tipos de sistemas de producción mencionados. Tomado de <a href="http://evaluador.doe.upv.es/wiki/index.php/Distribuci%C3%B3n_en_Planta_Celular">http://evaluador.doe.upv.es/wiki/index.php/Distribuci%C3%B3n_en_Planta_Celular</a> ..... | 32 |
| Ilustración 12. Proceso de simulación de la célula 1. Elaboración propia .....   | 44 |
| Ilustración 13. Reporte de resultados de la línea de fabricación 1 y 2. Elaboración Propia.....  | 45 |
| Ilustración 14. Reporte de resultados de la célula 1. Elaboración propia .....   | 45 |
| Ilustración 15. Reporte de resultados de la célula 2. Elaboración Propia .....   | 46 |
| Ilustración 16. Reporte de resultados de la célula 3. Elaboración Propia .....   | 47 |
| Ilustración 17. Reporte de resultados de la célula 4. Elaboración Propia .....   | 47 |
| Ilustración 18. Modelo de la Célula 1. Elaboración propia .....  | 53 |
| Ilustración 19. Propuesta 1 de redistribución. <i>Elaboración Propia. Software: Google SketchUp</i> .....  | 58 |
| Ilustración 20. Propuesta 2 redistribución. <i>Elaboración propia. Software: Google SketchUp</i> .....   | 60 |
| Ilustración 21. Propuesta 3 redistribución. <i>Elaboración Propia. Software: Google SketchUp</i> .....   | 62 |
| Ilustración 22. Vista parcial del modelo de la planta. <i>Elaboración Propia. Software: Google SketchUp</i> .....  | 65 |
| Ilustración 23. Avance de adecuaciones en la sección de la línea de fabricación 1. <i>Elaboración Propia</i> .....   | 67 |
| Ilustración 24. Avance de la sección en la adecuación. <i>Elaboración Propia</i> . 68  |    |
| Ilustración 25. Sector de soldadura. <i>Elaboración Propia</i> .....   | 69 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Proceso de clasificación de las referencias de la familia 1.<br>Elaboración propia.....            | 34 |
| Tabla 2. Matriz Familia-Proceso. Elaboración Propia .....   | 35 |
| Tabla 3. Coeficiente de similaridad de Jaccard. Elaboración Propia. ....                                    | 36 |
| Tabla 4. Coeficiente de similaridad de Rogers y Tanimoto. Elaboración Propia.<br>.....                      | 37 |
| Tabla 5. Resultado del modelo de Optimización con la ubicación de las<br>máquinas. Elaboración propia. .... | 39 |
| Tabla 6. Datos para calcular el tiempo de ciclo de las líneas de fabricación.<br>Elaboración propia.....    | 40 |
| Tabla 7. Balanceo de línea de los productos de mayor volumen. Elaboración<br>propia .....                   | 40 |
| Tabla 8. Balanceo de línea añadiendo 2 puestos de trabajo y optimizando.<br>Elaboración Propia .....        | 41 |
| Tabla 9. Resultados de capacidad simulados. Elaboración propia .....  | 51 |
| Tabla 10. Máquinas con área operativa de la sección de Alambre.<br>Elaboración propia. ....                 | 54 |
| Tabla 11. Comparativo del personal entre actual y futuro. Elaboración Propia.<br>.....                      | 55 |
| Tabla 12. Ventajas y desventajas de las distribuciones. <i>Elaboración propia</i> ...                       | 63 |

## LISTA DE ECUACIONES

|  |    |
|--|----|
| Ecuación 1. Coeficiente de Jaccard .....                           | 35 |
| Ecuación 2. Coeficiente de Rogers y Tanimoto .....                 | 36 |
| Ecuación 3. Función objetivo del modelo de optimización .....      | 38 |
| Ecuación 4. Restricción de disponibilidad de máquinas. ....        | 38 |
| Ecuación 5. Restricción de asignación de células disponibles ..... | 38 |
| Ecuación 6. Restricción de límite de células a formar .....        | 38 |
| Ecuación 7. Restricción de células abiertas .....                  | 38 |
| Ecuación 8. Restricción de tipo de variable.....                   | 38 |

## RESUMEN

Este proyecto propone una metodología para la distribución en planta de la sección de Alambre en la empresa del sector metalmeccánico Algamar S.A. Es conocido para las empresas del sector la problemática constante que tienen a la hora de medir sus eficiencias, la cantidad de inventario en proceso y la amplia distancia que existe entre sus procesos. Esto se debe principalmente a que el sector demanda cada vez más innovación y flexibilidad en los productos, complicando la tarea de tener procesos estándar ya que sus productos tienen mucha variabilidad en términos de tiempo, piezas, componentes y acabados. Actualmente en la compañía se presentan los problemas mencionados anteriormente debido principalmente a que la distribución actual está agrupada por procesos en donde se generan grandes lotes de producto en proceso en espera para ser manufacturados en cada estación. Esta configuración dificulta el seguimiento de las órdenes, el rastreo del producto y de las piezas dentro de la misma planta, y el flujo de información entre procesos no es el mejor dada la distancia que existe entre centros de trabajo.

Debido a lo anterior, se decide establecer 2 líneas de ensamble para las referencias Pareto del área, ya que son volúmenes muy grandes de pedido en productos seleccionados con las mismas características, se hace el respectivo balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo y posteriormente se evalúa este balanceo con una simulación usando los tiempos estándar de los productos.

Para las demás referencias se tiene que su volumen es variable, a su vez, se tienen una gran cantidad de secuencias de procesos por los cuales debe pasar el producto, por lo tanto, para brindar dicha flexibilidad a los procesos y generar a su vez un sistema de flujo de material pull, se agrupó las referencias en familias y posteriormente se implementó un modelo de optimización el cual genera la configuración de unas células de manufactura en donde se maximiza la similaridad entre procesos usando el coeficiente de Jaccard. Para efectos de la empresa y por limitaciones de espacio sólo se evaluó la apertura de 2, 3, 4 y 5 células. Realizando un análisis de movimientos intercelulares y flujo de material se llegó a la conclusión que la mejor cantidad de células a establecer es 4, cada una de estas con una combinación de máquinas y secuencias distintas agrupadas para todas las familias de productos obtenida.

Posteriormente se balancearon cada una de las células obteniendo la cantidad de máquinas y puestos de trabajo necesarios para mantener el flujo continuo del material sin incurrir en niveles de inventario en proceso. Al

igual que las líneas de producción se simularon las células para obtener la capacidad de producción máxima de cada módulo de trabajo y la eliminación del nivel de inventario.

Teniendo la cantidad de máquinas requeridas en cada módulo de trabajo se realiza la evaluación de los factores de distribución y condiciones requeridas, finalmente se plantearon 3 propuestas de distribución en donde se seleccionó la mejor en términos de ventajas, desventajas e implicaciones de traslado.



## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las industrias, y especialmente el sector metalmecánico compiten por innovación, flexibilidad y calidad, cada vez el volumen de producción de cada referencia es mucho menor y el portafolio de productos varía aún más. Pero dicha característica conlleva algunas implicaciones tales como la disminución de la eficiencia de los procesos, aumento de los costos de fabricación, y la complejidad de manejar estándares para las referencias. El éxito de este tipo de empresas viene condicionado, por muchos factores entre los que están la optimización de los costos de producción y una flexibilidad de los procesos que permita reaccionar y hacer frente a un entorno cambiante. (Diego Más, 2007)

Garantizar un buen nivel de servicio y el cumplimiento de las entregas está arraigado en gran medida a la organización de los procesos de manufactura, ya que esto contribuye a obtener una mejor utilización de los recursos de la planta. Una forma de impactar de una mejor forma dicha organización es mediante una planificación del layout, con ella se pueden mejorar los tiempos de producción, la productividad, la eficiencia, el manejo de inventario, la disminución de desplazamientos y otro tipo de elementos que no agregan valor al proceso productivo. (Dira, Pierreval, & Hajri-Gabouj, 2007)

Como se mencionó anteriormente, estos sistemas requieren mucha flexibilidad dado su nicho de mercado, este se caracteriza por tener una gran cantidad de productos y volúmenes bajos de producción, según (Mahdavi, Teymourian, Baher, & Kayvanfar, 2013), para este tipo de sistemas se aplica ampliamente la filosofía de la manufactura celular flexible, que permita agrupar un conjunto de máquinas y un conjunto de productos comunes para procesarlas.

Hoy en día Algamar S.A. en la sección de Alambre, maneja un sistema de producción por procesos, es decir existen zonas en donde se realiza un mismo tipo de proceso y todas estas están distribuidas indistintamente a lo largo de toda la sección. Lo anterior ocasiona que se trabaje por lotes, los cuales generan grandes cantidades de inventario en proceso repartidos en toda el área de trabajo, reduce a su vez la eficiencia de los procesos ya que se tiene menos control del flujo del material y las órdenes de producción retardando en gran medida los tiempos de entrega y generando caos en la planta.

Dadas las anteriores condiciones se decidió proponer una metodología para la distribución de la sección por producto, con el fin de

impactar las variables mencionadas anteriormente, es decir brindar un mejor flujo del material, eliminar al máximo los transportes, las esperas y el inventario en proceso. Dicha metodología se implementó primero realizando la recolección de la información necesaria que justifique el cambio de sistema de producción, posteriormente se clasificaron los productos según su demanda y se asignaron líneas de producción para los productos estrella con el fin de maximizar su eficiencia. Para las demás referencias de la sección al comportarse el sistema como un job shop se tiene una gran cantidad de productos, cada uno con rutas y configuraciones distintas caracterizadas por volúmenes medios y bajos de pedido, por lo tanto, se decidió conformar células de manufactura las cuales permiten tener un poco de flexibilidad y a su vez mejora la eficiencia de los procesos, por consiguiente se agruparon dichas referencias en familias de producto según los procesos que comparten entre sí, posteriormente se realizó un modelo de optimización usando el coeficiente de similaridad de Jaccard para maximizar la relación que tienen los procesos con las familias de productos, como resultado de este modelo se encontró que se deben tener 4 células de manufactura que abarcan el resto de productos de la sección. Finalmente se realizó el balanceo de todos los módulos de trabajo, se analizó la efectividad de este mediante la simulación y por último se procedió a diseñar los módulos de trabajo teniendo en cuenta los factores de distribución y las restricciones y necesidades de la planta.

Como resultado de todo el proceso, se obtuvo 11 familias de productos, 6 módulos de trabajo, compuestos por 2 líneas de producción y 4 células de manufactura, los cuales abarcan la totalidad de referencias de la planta. Se desarrolló unos indicadores los cuales a lo largo del tiempo miden la productividad y el porcentaje de utilización de cada módulo con el fin de realizar un seguimiento y una mejora continua a dicho proyecto.

## **OBJETIVO GENERAL**

Optimizar la distribución de la sección de Alambre garantizando un flujo continuo del producto eliminando inventario en proceso, transportes y esperas.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar el flujo de materiales en la planta de producción.
- Definir el sistema de producción con el cual debe trabajar la sección de alambre.
- Realizar un modelo de optimización que permita la formación de células de manufactura.
- Balancear las células de fabricación.
- Realizar las propuestas de distribución en planta que permitan el correcto funcionamiento de las células de manufactura.



## MARCO TEÓRICO

Como se ha ido mencionando a lo largo de todo el proyecto, las compañías del sector metalmecánico cada vez más necesitan reducir sus costos para ser competitivos, manejar una amplia flexibilidad y calidad de sus productos y cumplir con las órdenes de producción y los tiempos de entrega.

El volumen y la demanda de las referencias es mucho más variable, con lo cual las empresas apalancan una estrategia competitiva que se basa en la flexibilidad y en satisfacer las exigencias del cliente. Manejar dichas variables de la mejor forma (volumen, demanda y flexibilidad) es un reto que implica un flujo de trabajo continuo. Toyota propone un modelo de trabajo Just in time (JIT) el cual usa sus principales herramientas (Heijunka y Kanban) para controlar el ritmo de la producción. (Liker & Morgan, 2006)

En el artículo anterior se plantea que lo ideal es darle un flujo continuo al material con el fin de que realice todas sus etapas de fabricación en el menor tiempo posible, teniendo la pieza correcta, en el lugar correcto y en el momento adecuado. Crear células de manufactura permite obtener el movimiento del material de uno en uno sin interrupciones. A su vez el artículo menciona que en algunos casos no es posible implementar dicho flujo de uno en uno por las características del proceso, con lo cual se crea el concepto de supermercado. En donde se tiene una parte del proceso con inventario máximo controlado y se realiza el abastecimiento de las células de manufactura sólo con las cantidades de materia prima que el cliente requiere. Los conceptos mencionados anteriormente se basan en una producción pull (halar) en donde el flujo de información va desde el cliente, retrocediendo por cada uno de los procesos, suministrando la información del material necesario con el fin de evitar sobreproducción, gran cantidad de inventario en proceso, desperdicios, transportes y esperas.

Determinar una distribución óptima para una planta conlleva una gran cantidad de variables a analizar, no se puede tomar a la ligera dicho cambio ya que el impacto de esta en la planeación y la ejecución de las operaciones es muy alto. Esto se debe a las consecuencias directas que tiene sobre la eficiencia y la efectividad de todo el proceso productivo. (Liker & Morgan, 2006).

Con lo cual los sistemas de las empresas se pueden caracterizar según su volumen y su flexibilidad de producción en lo siguiente:

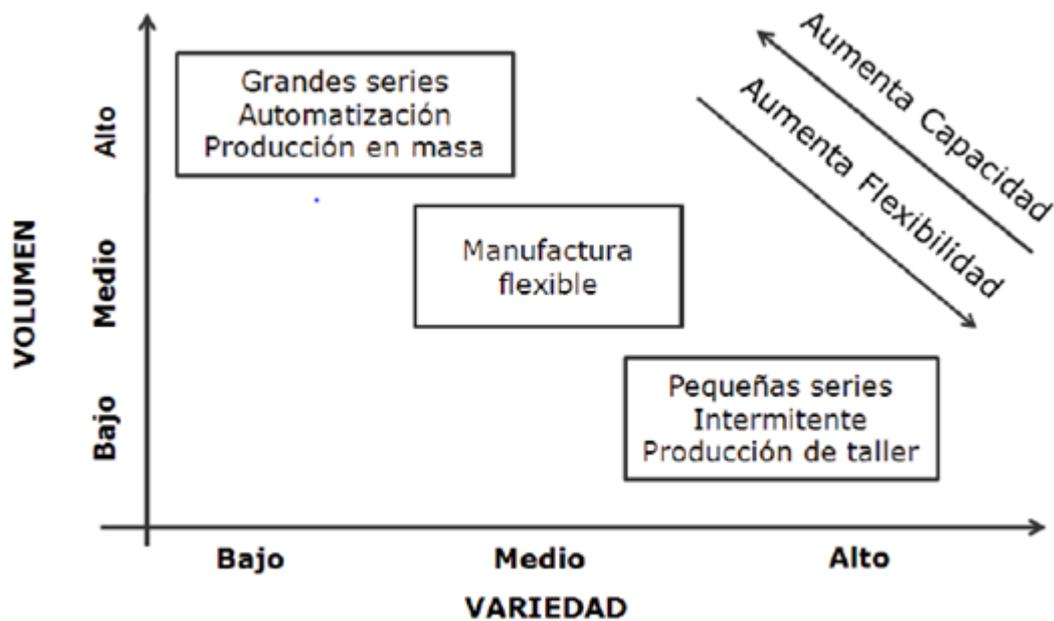


Ilustración 1. Gráfico de volumen- variedad. Tomado de (A. F. Salazar, Vargas, Añasco, & Orejuela, 2010)

De la Ilustración 1 se puede observar que las empresas manejan un trade off en términos de volumen y flexibilidad, ya que un sistema que maneje un volumen muy alto como las automatizaciones y producciones en masa, en su mayoría pierden flexibilidad en su portafolio, pero ganan en disminución de costos y estandarización de procesos. Por el contrario, cuando se tiene un volumen de producción bajo por referencia, pero una alta flexibilidad y variedad, se llama job shop, o producción de taller, donde su estrategia competitiva se enfoca en una gran variedad de productos y una alta personalización asumiendo unos costos más altos. Finalmente, cuando se quiere ser flexible y a su vez manejar cierta cantidad de volumen en algunos productos, como lo es el caso de la sección de Alambre de Algamar S.A se debe trabajar por medio de la manufactura flexible.

Se ha estimado que entre el 20% y el 50% del total de costos de las operaciones de manufactura se debe al manejo del material dentro de la planta, eso se atribuye a la efectividad del diseño de la sección, con lo cual implementando una buena optimización de los procesos se puede reducir este costo entre un 10% y un 30 % (Wang, Yan, Zhang, Shangguan, & Xiao, 2009). A su vez, el mercado del sector es cada vez más exigente y maneja distintos requerimientos para cada uno de sus productos, con lo cual una distribución en planta orientada a dichos cambios puede operar de forma eficiente.

Se tienen distintos algoritmos para resolver distribuciones en planta, en las cuales se consideran niveles de detalle tales como la orientación de las máquinas dentro de la agrupación celular. Como los layouts de las plantas manejan una gran diversidad de variables a analizar, en ocasiones los modelos de optimización exactos no son prácticos ya que requieren gran capacidad o tiempo computacional para decisiones que tienen un periodo de decisión corto. (Deshpande, Patil, Baviskar, & Gandhi, 2016)

La agrupación de productos por tecnologías o por procesos dificulta no sólo los inventarios en proceso y los transportes, si no el rastreo de los órdenes de producción a lo largo de toda la planta, la comunicación entre los empleados, aumentando los defectuosos y disminuyendo la capacidad de reacción de la planta frente a problemas ocultos que puedan estar sucediendo a lo largo de todo el proceso de fabricación (B. Salazar, 2017). A continuación, la *Ilustración 2* muestra el objetivo de la agrupación celular:

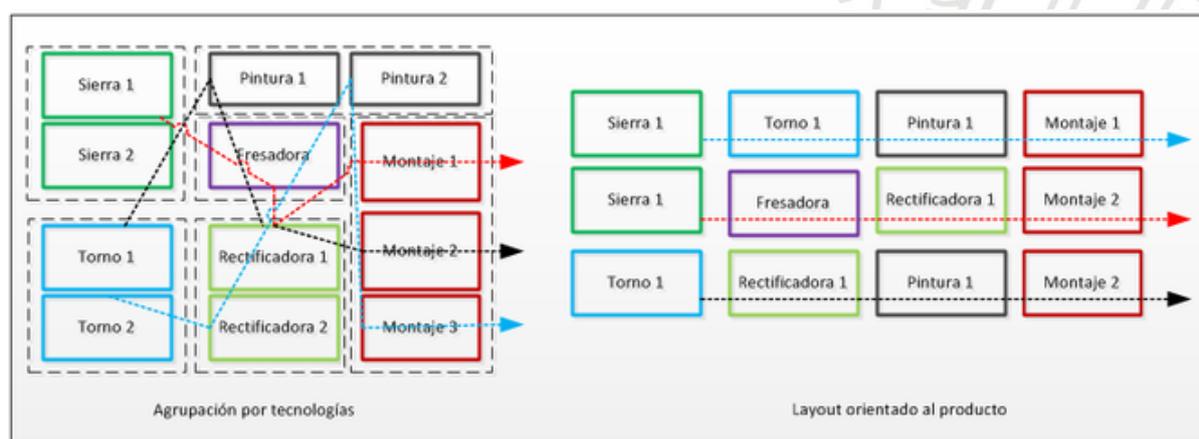


Ilustración 2. Cambio de sistema de producción orientado al producto. Tomado de: (B. Salazar, 2017)

Teniendo claro que se debe reestructurar la sección por módulos de trabajo o celdas de manufactura se debe tener en cuenta que una celda de manufactura es una colección de equipos o máquinas que se requieren para fabricar una parte de un producto o una familia de partes con características similares. Por lo general, los equipos se colocan en círculo alrededor de un operador u operadores. Ver *Ilustración 3*

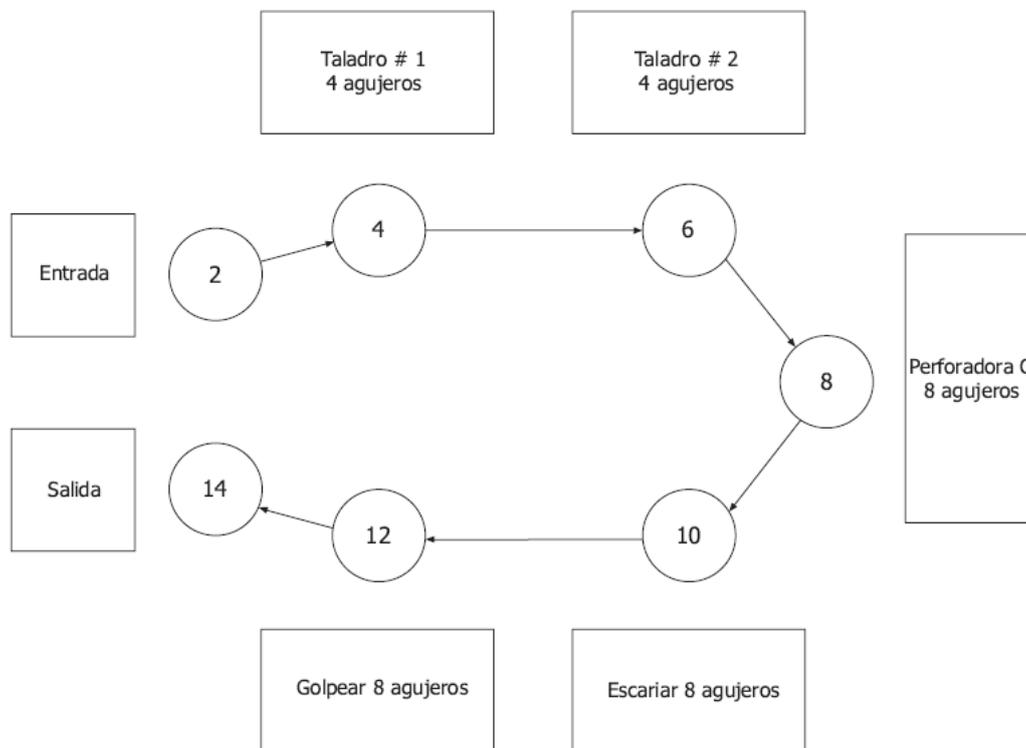


Ilustración 3. Diseño de una célula de manufactura. Tomado de: (Fred E. Meyers & P. Stephens, 2006)

Luego, el operario toma la materia prima y se sitúa en la estación donde se va a proceder a procesar la pieza, y posteriormente ya sea ese mismo operario u otra toma la pieza y la transforma en el proceso siguiente de producción, generando un flujo continuo y uno a uno del material, se realiza así de forma continua hasta que se termina el proceso de fabricación del producto donde por último es inspeccionado y almacenado en la zona de producto terminado. (Fred E. Meyers & P. Stephens, 2006)

Las celdas de manufactura se desarrollan a un ritmo muy rápido porque:

1. Reducen el tiempo de arranque en forma significativa.
2. Eliminan todo almacenamiento entre operaciones.
3. Eliminan la mayoría de tiempo de movimiento entre operaciones.
4. Terminan con los retrasos por esperar a la máquina siguiente.
5. Reducen los costos.
6. Disminuyen el inventario (disminuciones de trabajos en proceso).
7. Reducen el tiempo de manufacturas en proceso.

(Fred E. Meyers & P. Stephens, 2006)

Los problemas de diseño de instalaciones (Facility Layout Problems) son problemas de optimización que implican determinar un diseño eficiente para los departamentos dentro de una instalación determinada. El objetivo principal de un FLP es minimizar el costo total de manejo del material, que se evalúa como la suma del producto entre el flujo de material y la distancia de

viaje. El diseño de una planta de producción es un factor importante ya que el diseño influye significativamente en el costo de manejo del material y el rendimiento de un sistema. (Kang, Kim, & Chae, 2018)

Los sistemas Job Shop, son complejos; ya que requieren una alta flexibilidad y variedad de productos, debido a la personalización que el cliente demanda, son productos que pueden tener infinitudes de combinaciones de procesos con el fin de darle un acabado distinto u añadirle una función distinta. Estos sistemas de producción a su vez se caracterizan por tener unos volúmenes bajos y un gran portafolio de referencias. Una de las principales evidencias de esta problemática de estandarización, es el incumplimiento de las fechas de entrega pactadas con los clientes, situación originada en gran medida por el problema de la inadecuada o inexistente programación de la producción, la falta de una metodología formal que permita establecer las fechas de entrega y que conduzca a crear confiabilidad, servicio y calidad tanto en el proceso productivo como en los procesos de apoyo y soporte al cliente (Cámara de Comercio de Bogotá, 2005).

En el proceso productivo intervienen los factores máquina y hombre, limitados a su vez por su disponibilidad –capacidad–, de los cuales depende la realización de una actividad en un determinado lapso. La dificultad que afronta este tipo de industria radica en que se ven enfrentadas a una demanda variable en cuanto a cantidades y tipos de productos y a que presentan un ambiente de producción Job Shop Flexible. (Orejuela Cabrera, Ocampo Carrillo, & Micán Rincón, 2010)

Para cumplir con el mundo real de situaciones competitivas como producir productos al menor costo, la mayoría de empresas adoptan herramientas y técnicas para minimizar el costo del producto, eliminar desperdicios y reducir los tiempos de entrega. Las técnicas Lean se enfocan en eliminar los procesos que no agregan valor al producto (desperdicios, inventarios, esperas, transportes innecesarios, entre otros). El mapa de la cadena de valor, es una de estas herramientas que permiten caracterizar la situación actual de una empresa por medio del desglose de sus procesos, identificando los que no agregan valor a la fabricación del producto o a la prestación del servicio, y busca identificar la eficiencia de dicha secuencia de procesos en función de los tiempos mencionados. (Kumar, Dhingra, & Singh, 2018)

Al hablar de los softwares y los métodos usados para evaluar eventos sin intervenir físicamente el proceso, se han creado diversas técnicas; una de ellas es la simulación de eventos. Un modelo de simulación es un modelo

descriptivo de un proceso o sistema, que usualmente incluye parámetros para representar diferentes configuraciones del sistema o proceso. El uso de modelos de simulación puede reemplazar la realización de experimentos en sistemas reales y aquellos proyectos que aún se encuentran en fase de desarrollo, permitiendo experimentar, evaluar y comparar muchos sistemas alternativos. (Guerrero Hernández & Henriques Librantz, 2014)

ProModel es un software de simulación de eventos discretos altamente flexible, que permite la interacción con otras herramientas computacionales como Excel, y su integración con Excel lo vuelve altamente flexible y amigable. (Guerrero Hernández & Henriques Librantz, 2014)

Una herramienta de diagnóstico ampliamente utilizada en la metodología Lean es el Value Stream Mapping (VSM) la cual permite analizar de forma global todo el proceso que se quiere intervenir. Algunas características de esa técnica son:

1. El ritmo de producción debe ser impuesto por la demanda del producto. El tiempo tomado debe ser el concepto que refleje tal ritmo.
2. El flujo continuo debe establecerse donde sea posible (transferencia de producto a través de lotes).
3. Los sistemas de arrastre deben utilizarse entre diferentes centros de trabajo cuando son continuos el flujo no es posible.
4. Sólo un proceso, llamado proceso de marcapasos (Proceso crítico), debe dirigir el ritmo de producción de las diferentes partes. Este proceso establecerá el ritmo para el flujo de valor completo.
5. La programación del proceso del marcapasos se ocupará de la maximización de la mezcla y nivelación de la producción en volumen utilizando sistemas heijunka.
6. Se debe mejorar la eficiencia general del proceso. Proyectos como método de trabajo y mejoras de tiempos de ciclo, reducciones de tiempos de cambio y mantenimiento. (Serrano, Ochoa, & Castro, 2008)

La aplicación de la herramienta mencionada anteriormente fue acompañada de otra la cuál ha permitido a las empresas balancear las tareas y la serie de pasos que se requieren para fabricar un producto o prestar un servicio. Una línea de producción y ensamble, en términos generales, es un agrupamiento de tareas en estaciones de trabajo que deben respetar determinadas relaciones de precedencia. Uno de los desafíos de este sistema de producción es el denominado balanceo, que consiste en la asignación de las tareas a las estaciones de trabajo en función

de la capacidad de producción y el tiempo productivo de la línea, de tal manera que la carga de las estaciones sea lo más equilibrada posible. (Capella, Montagna, Camussi, & Cafaro, 2017)

Para evaluar la eficiencia del proceso anterior, por medio de software, se ha implementado diversas técnicas, una de ellas es la simulación. La simulación de eventos discretos es una técnica que permite crear modelos, apoyándose en equipos y programas informáticos, que posteriormente servirán para analizar el comportamiento de un sistema en diferentes circunstancias, analizando los posibles cambios y sus consecuencias. Desafortunadamente, aún son muchos los sectores industriales que no se aprovechan de las ventajas que esta tecnología ofrece para la toma de decisiones, el ahorro de costes o la optimización de procesos industriales. (Castrillón, 2008)

Uno de los programas mas utilizados a nivel mundial para la simulación y el análisis de escenarios es ProModel. Este es un software de simulación utilizado por empresas de todo el mundo para simular sus operaciones en la búsqueda de mejoras en la productividad, optimización de la producción, disminución de costos, etc., así como para la evaluación de ideas y diseños de nuevos sistemas. (Bernal Loaiza, Sarmiento, & Restrepo Correa, 2015)

Alguna de las aplicaciones de este software y algunos casos son el estudio de casos que emplean el paquete ProModel como una herramienta, utilizando el modelo para comparar los rendimientos en términos de porcentaje de utilización, las características de WIP y la capacidad de cumplir con la fecha de entrega. Las etapas de verificación y validación se realizaron antes de ejecutar los escenarios. El modelo ejecuta la producción diaria y luego los recursos de restricción de capacidad definidos por el % de utilización. (Tearwattanarattikal, Namphacharoen, & Chamrasporn, 2008)

La distribución de planta acompañada de las herramientas mencionadas anteriormente es un punto de partida bajo la filosofía lean que tiene alto impacto; el layout de una planta es un concepto relacionado con la disposición de las máquinas y los espacios comunes dentro de una instalación productiva propuesta o ya existente. La finalidad fundamental de la distribución en planta consiste en organizar estos elementos de manera que se asegure la fluidez del flujo de trabajo, materiales, personas e información a través del sistema productivo. (Tarazona Bermudez, Rodríguez Rojas, & Ochoa Rodriguez, 2014)

Analizando artículos que sustentan la metodología implementada encontramos los siguientes conceptos: la productividad en una celda de manufactura flexible Flexible Manufacturing Cells (FMC) puede medirse en cuanto al mejoramiento en calidad, la reducción en costos e inventario, y un mejor manejo de los productos. Una FMC es un grupo de máquinas o estaciones de trabajo relacionadas que realizan una tarea específica. El proceso que ejecuta cada una de las estaciones de trabajo de una FMC pueden ser simuladas en Promodel, con el fin de predecir posibles mejoras para el aumento de la productividad. (Bernal Loaiza et al., 2015)

El problema de diseño de celdas para manufactura (Manufacturing Cell Design Problem, MCDP), consiste en la agrupación de máquinas manufactureras en celdas con la finalidad de minimizar los movimientos inter-celdarios con las partes. (Soto, Crawford, Zec, Alarcón, & Almonacid, 2016)

El problema de distribución de instalaciones (FLP) se define como la ubicación de locaciones en un área de la planta, con el objetivo de determinar la disposición más efectiva de acuerdo con algunos criterios u objetivos bajo ciertas restricciones, como la forma, el tamaño, la orientación y la recogida. En combinación con metodologías Lean, simulaciones y análisis se puede aumentar la capacidad efectiva de cualquier instalación. (Hosseini-Nasab, Fereidouni, Fatemi Ghomi, & Fakhrzad, 2018)

Un análisis de una línea de productos de pequeñas y medianas empresas (PYME) muestra que los productos (componentes o ensamblajes) son bastante similares en términos de diseño y tecnología, por lo que se forman grupos de productos. Para cada agrupación se puede organizar una celda de producción. De acuerdo con la línea de productos de una empresa, se organiza un cierto número de células de producción individuales, mientras que la producción del job shop se mantiene para la línea de productos restante. (Zupan, Herakovic, Zerovnik, & Berlec, 2017)

La fabricación celular es un sistema de diferentes procesos y recursos que responden a un principio de agrupación. Cuando un grupo de celdas produce el mismo subproducto y se entrega a otro proceso, la configuración resultante puede ser considerada una línea de ensamblaje (AL) con celdas paralelas. (Bocanegra-Herrera & Orejuela-Cabrera, 2017)

Un sistema productivo ya sea del tipo flow shop, job shop, por proyectos o manufactura modular, está enfocado a mejorar su eficiencia elevando su productividad. El objetivo del balanceo de líneas es hallar una distribución

de la capacidad adecuada, para asegurar un flujo continuo y uniforme de los productos, a través de los diferentes procesos dentro de la planta, encontrando las formas para igualar los tiempos de trabajo en todas las estaciones, para maximizar aprovechamiento posible de la mano de obra y del equipo. (Peña Orozco, 2016)



## METODOLOGÍA

En la planificación, diseño e implementación de la redistribución de la sección de Alambre en la empresa Algamar S.A se decidió designar 5 fases para cumplir con dicho proyecto. La primera fase fue la recolección de información para evaluar los puntos críticos de la planta en términos de la eficiencia, se procedió a analizar el flujo del material a lo largo de todo su proceso productivo, encontrando diversos factores tales como excesos de inventario en proceso, transportes excesivos, una gran cantidad de esperas para procesar el material, y un incorrecto flujo de información entre los mismos trabajadores, incurriendo en pérdidas de material dentro de la planta. Con lo cual según (Moreno Vásquez, Pedro. Mora Ruíz, 2012) la metodología que mayor impacta dichos factores es una distribución por producto y no por proceso como se observa actualmente en la sección y el correcto balanceo de las cargas de trabajo de dichos procesos. Para esta fase se decidió recolectar la información de la cantidad de inventario entre cada proceso y la distancia que recorre el material para ser procesado, esto con el fin de realizar un VSM (Value Stream Mapping) actual y uno futuro en el cual se plasme el impacto de una redistribución en términos de eficiencia del proceso.

Una vez culminada la fase de recolección de información y elaboración de los VSM se procede a realizar la segunda fase, la cual es la caracterización del sistema de producción actual, en términos de producto y volumen, la distribución actual, el flujo del material, las palancas de fabricación que poseen y sus respectivas salidas de fabricación con el fin de realizar un cambio de sistema de producción y a su vez plantear los objetivos y los requerimientos para el nuevo sistema que se propone.

Se realizó la respectiva investigación de casos exitosos de aplicación de redistribución, encontrando el artículo de (Pantoja, Orejuela, & Bravo, 2017) en el cual se propone realizar un modelo de optimización con el fin de formar células de manufactura, este artículo se basa en el coeficiente de similaridad de Jaccard usado en distintos campos para cálculos de dicho índice, como en el artículo de (Mohamad & Ibrahim, 2017), este modelo de optimización permite maximizar la similaridad de distintas familias de productos, el cual se compone de unos pasos previos para obtener los parámetros y la información que requiere. Cabe resaltar que se decidió crear 2 líneas de producción para las referencias Pareto de la empresa, lo cual aumenta la eficiencia y estandariza el proceso ya que son productos de línea. Las demás referencias que se fabrican en Algamar S.A sección Alambre se conformaron por medio de la creación de las células de manufactura, al ser una gran cantidad de productos no es posible establecer una línea de producción para cada uno dada su variabilidad y cambios en el producto, lo anterior requiere un esquema de producción un poco más flexible que permita procesar una familia de productos con

características similares. Por lo tanto, con el fin de parametrizar el modelo de optimización, es necesario agrupar las referencias de la sección de Alambre en familias, dicha conformación se hace analizando los procesos de cada referencia y agrupando en caso de que compartan las mismas operaciones. Posteriormente se realiza una matriz producto-familia-proceso la cual es usada para calcular el coeficiente de similitud de Jaccard entre los distintos procesos. Posteriormente obteniendo dicho parámetro se realiza la construcción del modelo en el software Xpress-IVE, obteniendo como resultado la conformación de las células de manufactura optimizadas.

Una vez identificadas las células de manufactura y las líneas de producción que se requiere, se procedió a estimar la demanda de los productos que se fabricarán en las células, y se realizó un balanceo de línea con el fin de obtener un sistema pull, para conocer la cantidad de máquinas y puestos de trabajo que se necesitan, dicho sistema tiene su enfoque en competir en innovación y flexibilidad de los productos. Este, elimina completamente el inventario en proceso y se realiza el flujo de material de uno en uno a su vez como el flujo de información desde el cliente hacia atrás en todos los procesos. *Ilustración 4.*

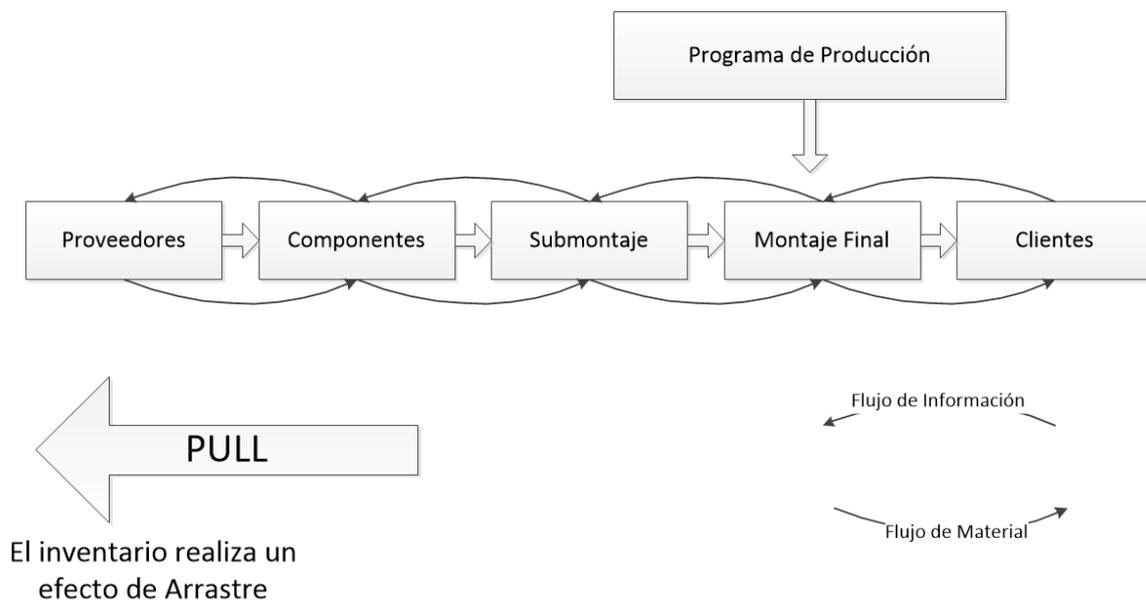


Ilustración 4. Sistema de producción Pull. *Elaboración Propia*

Luego de realizado el balanceo, se realiza la simulación de las células de manufactura y las líneas de producción con el fin de evaluar la eficiencia el balanceo, el nivel de inventario posible que se pueda generar, y se analiza el comportamiento del producto dentro de este nuevo sistema de producción, a su vez, la simulación arroja una estimación de cuál es la

capacidad en términos de unidades producidas de cada módulo de trabajo y a su vez el porcentaje de utilización aproximado de cada máquina.

Una vez analizada la simulación y las diversas situaciones que se presentan, se deben evaluar los factores de distribución en planta (factor material, maquinaria, hombre, movimiento, espera, servicio, edificio, cambio) (Muther, 1977). Esto para abarcar en mayor medida todos los posibles inconvenientes y situaciones que se pueden presentar más adelante y a su vez tener en cuenta todas las condiciones necesarias en términos de seguridad, salud y eficiencia que requiere una distribución. Luego de analizar todas las variables mencionadas anteriormente se procede a elaborar 3 propuestas de diseño de planta y sistemas productivos, con el fin de analizar sus ventajas, desventajas e implicaciones en términos de costos, adecuaciones, tiempo requerido, eficiencia de operaciones, entre otras; para finalmente decidir la mejor alternativa de diseño de la sección. Por último, se elabora una tabla de indicadores para cada célula y módulo de trabajo con el fin de evaluar y realizar un seguimiento a la productividad y utilización de estas.

## **RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Al analizar la primera etapa del proyecto se encontró en la sección, una distribución por proceso, en donde se tenía estipulado una agrupación de máquinas en diversas zonas según el tipo de función que realizan. Por lo general, se fabrican a través de grandes lotes, con un promedio de 1.000 unidades; las cuales se acumulan en cada proceso en espera de ser modificadas en el proceso posterior según la referencia. Por otro lado, se tiene una gran cantidad de tiempos de transporte de producto en proceso. Ya que cuando culmina su transformación en alguna parte del proceso, la posterior no necesariamente se ubica cerca. Según lo anterior, se emplea una gran cantidad de tiempo en acciones y procesos que no agregan valor al producto, que el cliente no está dispuesto a pagar por ello, y con lo cual se requiere disminuir al máximo y en lo posible eliminarlos.

El plano actual de la sección está a continuación en la *Ilustración 5*:

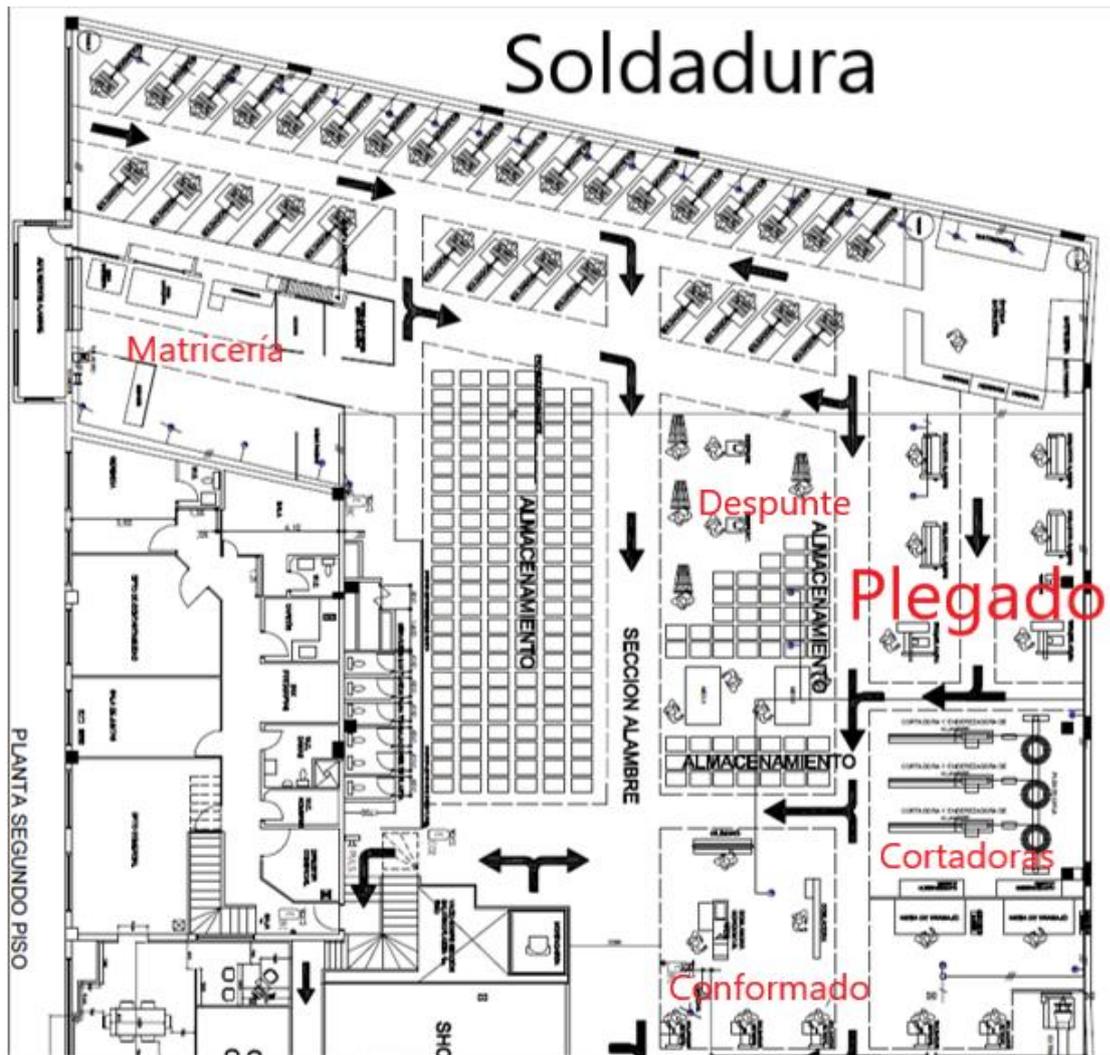


Ilustración 5. Plano actual de la sección de Alambre. Modificado de Planos Algamar S.A

Se observa que los puestos de trabajo están agrupados según la función que realicen, y no según el producto que fabrican. Esto se evidencia en la sección en una falta de orden, dificultad de rastreo de las ordenes de producción, bajo control del flujo del material, en ocasiones se presenta que fabrican otra vez un lote completo debido a que no se tiene control ni áreas marcadas de la ubicación del producto.

Se hizo un rastreo y un seguimiento a un producto específico (Cocineta AR-17-Cod 30623). Con el fin de evaluar el flujo de material para este producto, sus inventarios, transportes, esperas, tiempos de ciclo y fabricación. La anterior información se graficó en un VSM, *Ilustración 6*, herramienta que permite analizar los flujos de información y material que se requiere para fabricar un producto o prestar un servicio, con el fin de conocer de forma cuantitativa la eficiencia de este discriminando los procesos que agregan valor al producto o al cliente y los que no lo realizan.

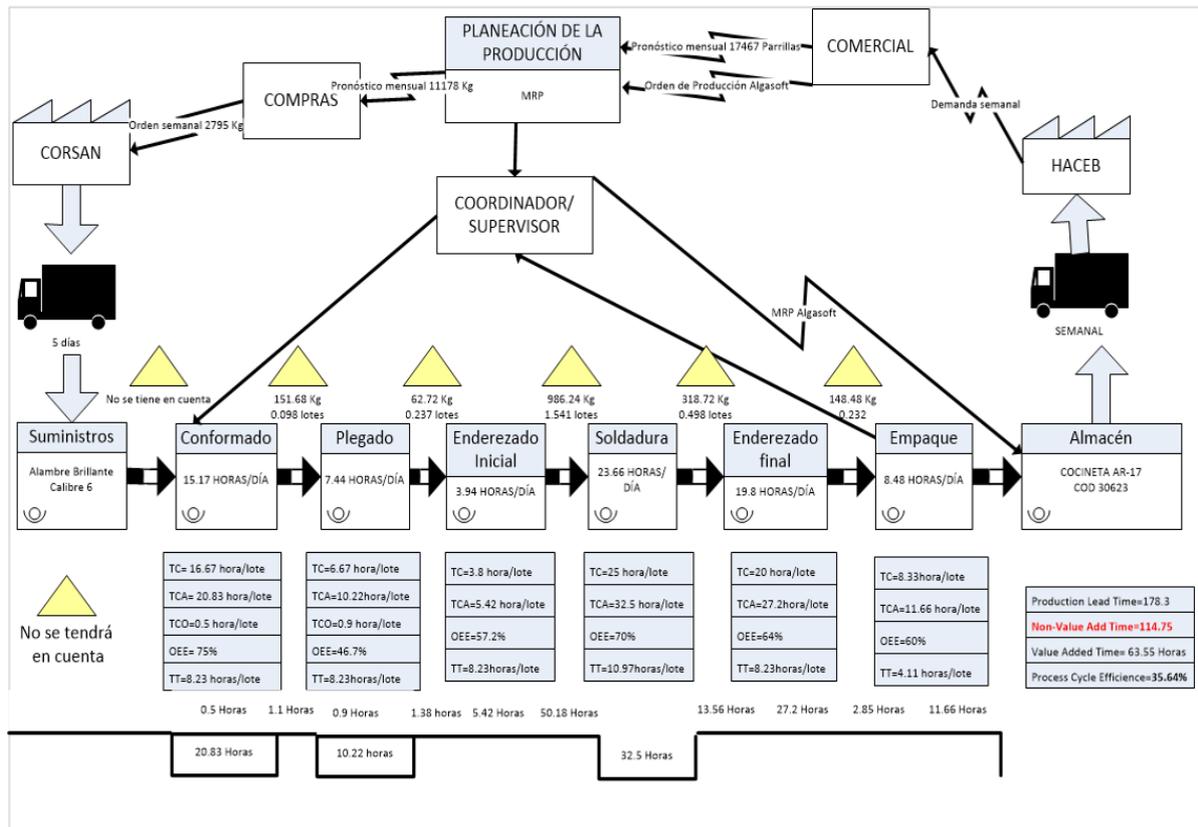


Ilustración 6. VSM actual del proceso para la Cocineta AR-17. *Elaboración propia.*

Al observar, encontramos que se presenta inventario entre cada proceso productivo en la fabricación de dicha referencia. Se puede identificar un cuello de botella antes del proceso de soldadura, el cual maneja un inventario anterior de **1,541 unidades (1.541 lotes)**, traduciendo dicho valor en tiempo de procesamiento son alrededor de 51 horas para terminar de producir estas unidades, es decir más de 6 turnos de 8 horas.

La línea negra inferior indica cuales procesos agregan valor al producto y cuáles no, lo que está por encima de esta, no agrega valor, por el contrario, lo que se muestra por debajo agrega valor. Teniendo en cuenta lo anterior, el tiempo total de los procesos que no agregan valor es de **114.75 horas**, mientras que el tiempo total que agrega valor es de **63.55 horas**; presentando una eficiencia de **35.64%**. (Esto sin tener en cuenta el inventario de materia prima). De esas 114.75 horas de ineficiencia, se tiene que el **60.19% (69 horas)** se deben a inventario en proceso, lo que genera una oportunidad de impactar en gran medida este indicador disminuyendo los tiempos mencionados anteriormente.

Aplicando las técnicas mencionadas en la metodología, y analizando la misma referencia de la *Ilustración 6*, se quiere obtener un VSM futuro de la siguiente manera:

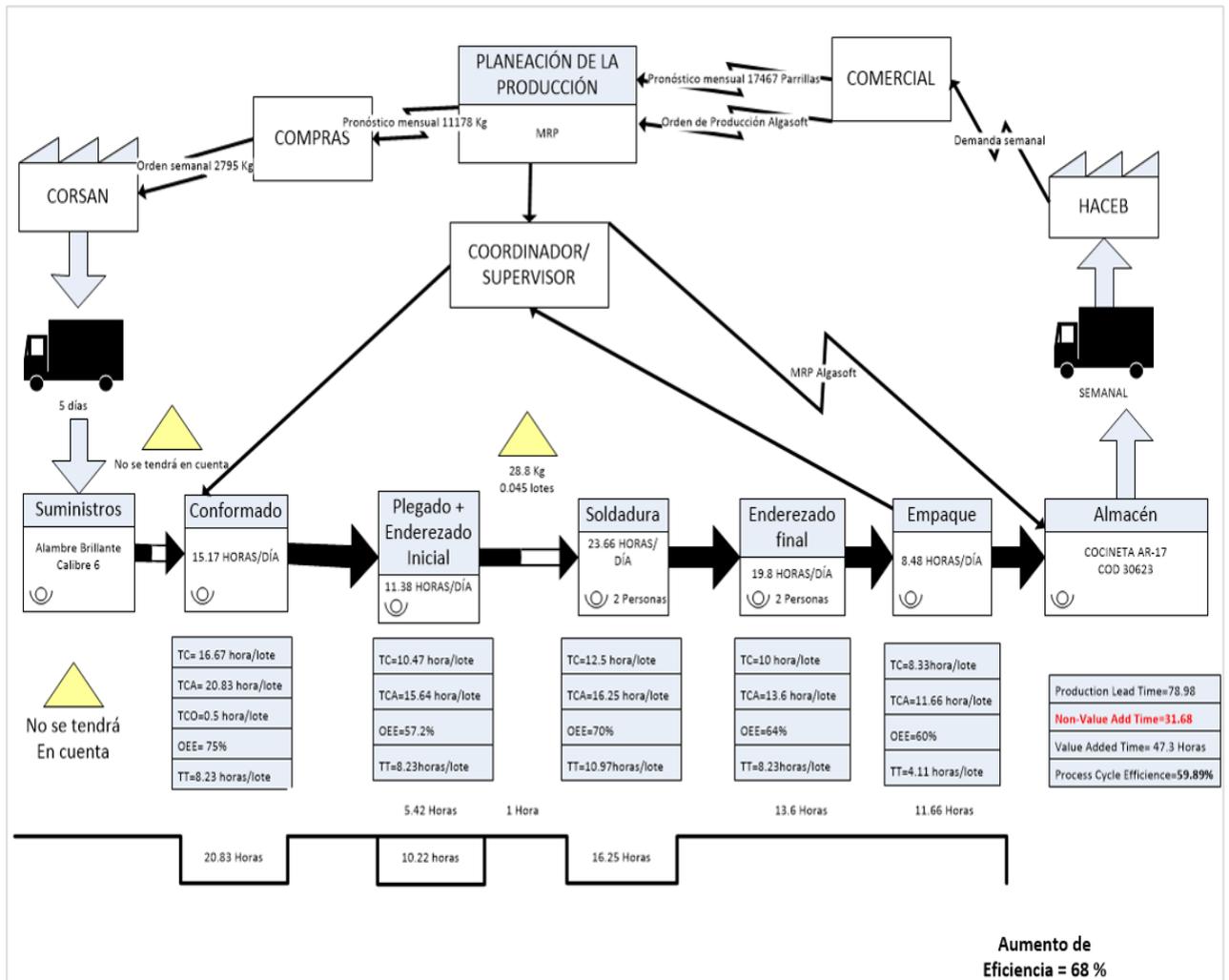


Ilustración 7. VSM Futuro-Cocineta AR -17. Elaboración propia.

Analizando la Ilustración 7, se identifica que el único punto de inventario en proceso se realizará antes de la operación de soldadura, esto se debe a que las piezas son tan pequeñas y salen a una tasa tan rápida del proceso anterior, que dificulta el flujo uno a uno en esta parte del proceso, con lo cual se manejará una estantería de picking dinámico antes de este puesto con el fin de abastecer el proceso de soldadura y luego de este, generar un proceso uno a uno durante toda la transformación del producto. También se observa que luego de un balanceo previo, el cual se tratará más adelante se decide designar para un operario, los procesos de plegado y enderezado inicial.

Se puede concluir que, eliminando los transportes innecesarios del proceso, y el inventario en proceso se puede alcanzar una eficiencia de **59.89%**. Generando un aumento de eficiencia comparado con el VSM actual de **68%**.

## **Caracterización del sistema de producción actual**

Inicialmente manejan un Layout por procesos, como se mencionaba ya anteriormente, es decir manejan un conjunto de máquinas que están estructuradas por las funciones o procesos que realiza cada una. Por ejemplo, se tiene un área de soldadura, otra de plegado, conformado, corte de materia prima, entre otros. Lo que esto provoca es la necesidad de trabajar por lotes ya que los productos tienen diversos procesos, y el flujo de material no es continuo porque no se maneja ningún tipo de banda transportadora que facilite el manejo de materiales y algunos procesos son muy distantes de los otros. Se aumenta el inventario en proceso, se aumentan los transportes y las esperas, pero se gana un poco de flexibilidad, que es característica de este tipo de Layouts.

Con lo cual, su sistema de producción es por flujo en lotes generalmente de 1.000 unidades, debido a las condiciones del tipo de layout y las características del proceso actual.

La empresa maneja una gran variedad de productos, específicamente la sección de alambre maneja todo tipo de parrillería para clientes como lo son Haceb, Challenger y Friomix. Estas últimas manejan un volumen de unidades considerable aproximadamente 103.000 productos al mes entre parrillas, entrepaños y demás elementos similares. A su vez existen también una serie de elementos que no manejan un volumen grande, pero si un poco más de flexibilidad y complejidad como, por ejemplo, canastas para supermercados y retails como Mercadería Justo y Bueno, D1 y Tostao.

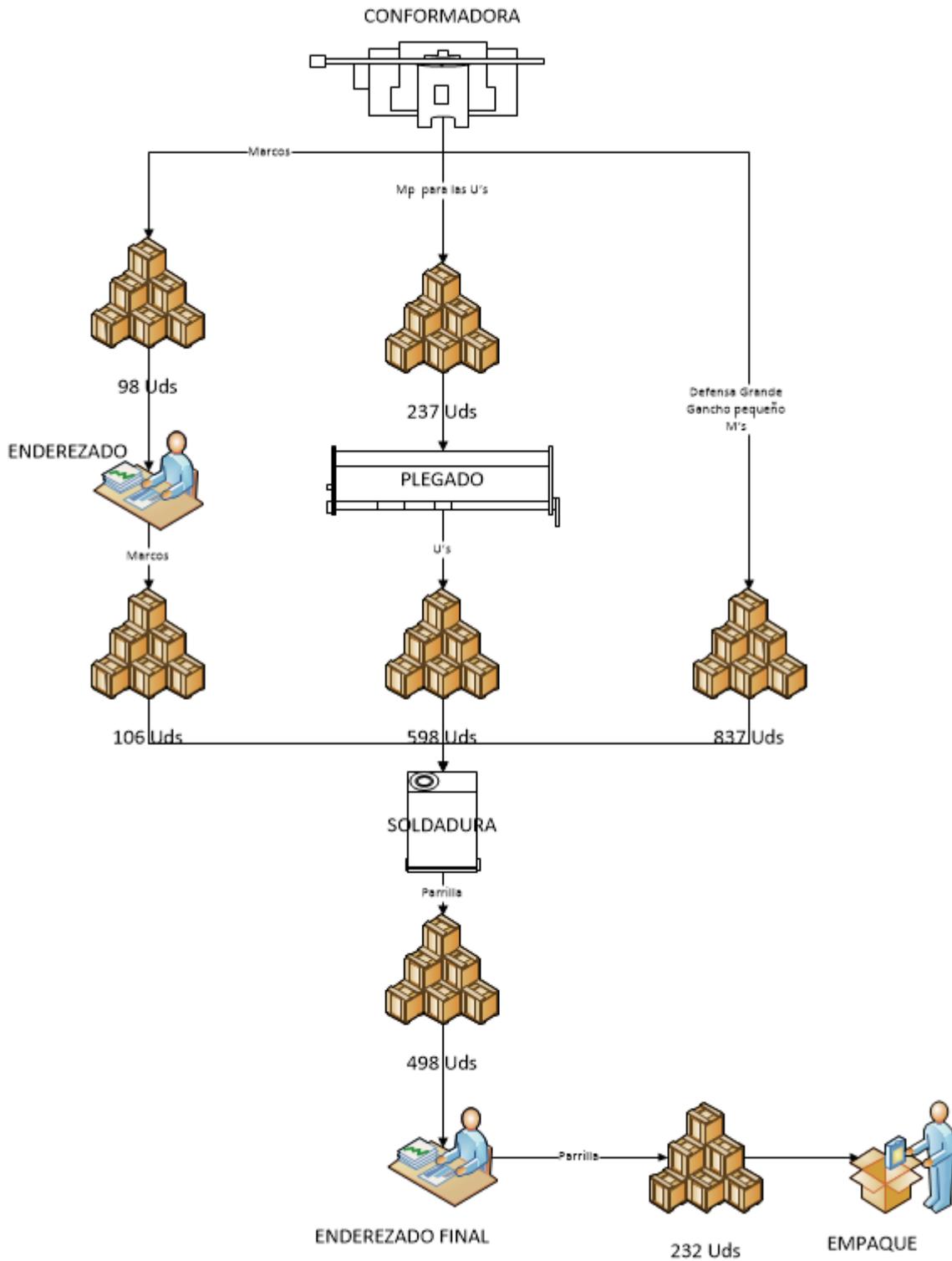


Ilustración 8. Proceso productivo Cocineta AR-17. *Elaboración propia.*

En la *Ilustración 8*, se puede observar de forma gráfica el sistema de producción en lotes que maneja actualmente la sección, esto se debe a los altos recorridos que realiza el operario transportando el producto en proceso

hacia todos los puestos de trabajo, con lo cual se genera inventario en cada punto.

### Palancas de fabricación actuales

- **Recursos humanos**

Para la parte de recursos humanos se cuenta con 116 personas en total, entre operarios, patinadores, supervisores, jefe de sección e indirectos; los cuales trabajan 6 días a la semana y 3 turnos de 8 horas cada día.

- **Estructura y control de la organización**

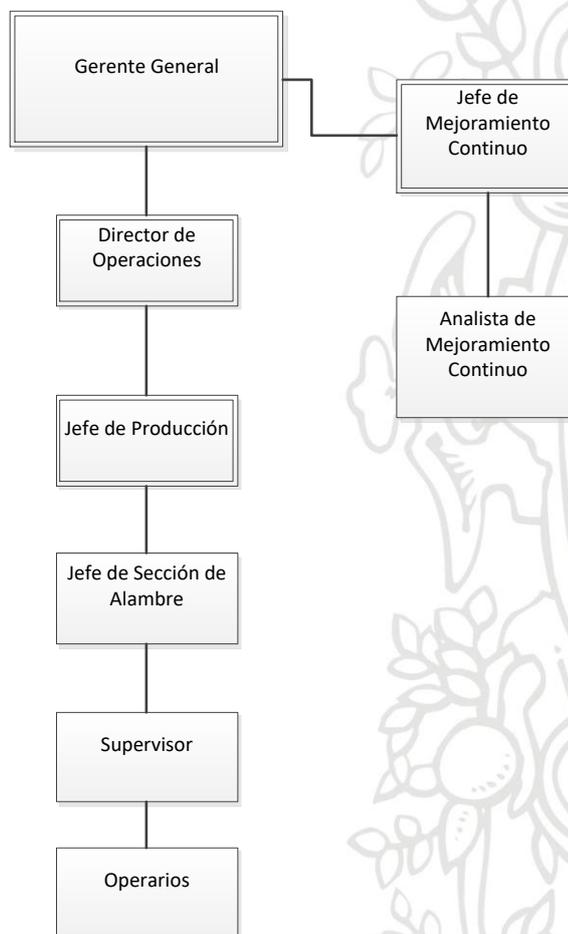


Ilustración 9. Organigrama enfocado en la sección de Alambre. *Elaboración propia.*

En la *Ilustración 9* se puede evidenciar el organigrama enfocado en la sección de Alambre, en donde se tiene un gerente general el cual tiene a cargo al director de operaciones y al jefe del departamento de mejoramiento continuo encargado de los proyectos de la sección; a su vez este último se encarga de controlar y supervisar las propuestas realizadas por los analistas. Continuando en la línea del director de operaciones, se

encuentra el jefe de producción encargado de gestionar todas las órdenes generadas por los clientes, el cual tiene a cargo el jefe de la sección de Alambre, el cual asigna todos los turnos y coordina la producción en planta de la compañía.

- **Aprovisionamiento**

En esta área se manejan diferentes proveedores, principalmente de Alambre y Platina en calibres 4,5,6,12 y 7mm principalmente. Las empresas con mayor participación en el proceso de abastecimiento de la sección son: Postaelectras Dishierros S.A, Aceros Industriales S.A.S y Corsan S.A. Por lo general se mantienen en stock 25 Toneladas de alambre en los diferentes calibres mencionados anteriormente.

- **Planificación y control de la producción**

Para esta parte se ha venido desarrollando principios de teoría de restricciones en el tema de la administración del recurso crítico de cada una de las secciones, Con lo cual se puede observar a través de una gráfica ubicada en el MRP (Manufacturing Resource Planning) el cual es un software que permite la administración de la producción, la carga porcentual de las máquinas y la capacidad que se excede o que es ociosa de estas.

Por otro lado, se tiene otra interfaz llamada "Algasoft" en la cual es posible consultar planos, inventario y otro tipo de datos. Con el fin de tener un mayor control y organización de los procesos operativos y administrativos de la compañía.

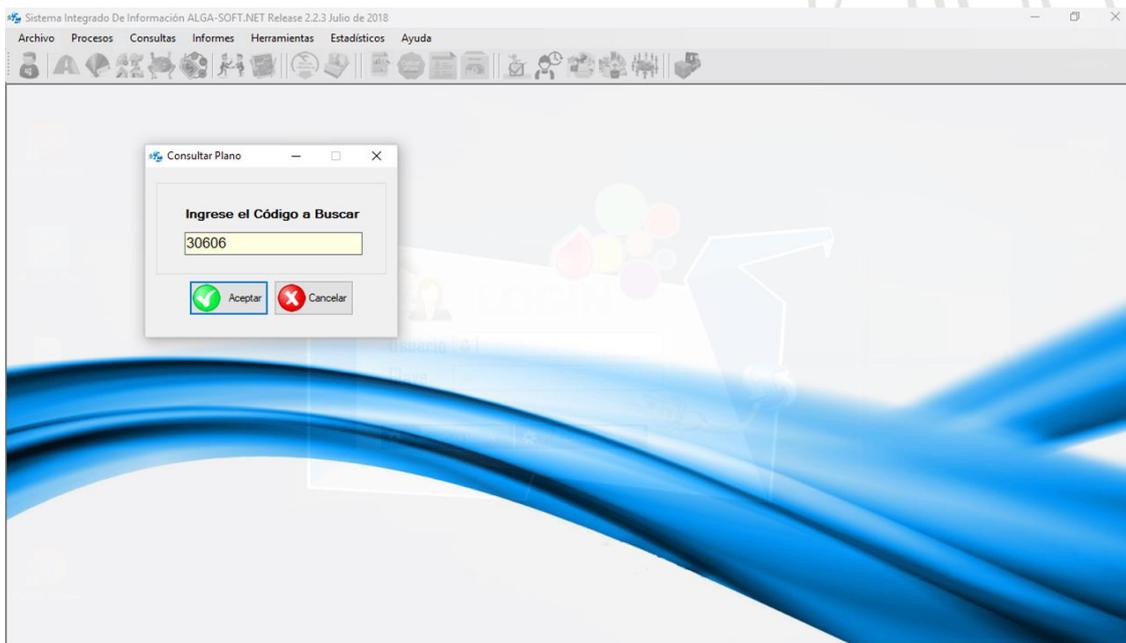


Ilustración 10. Interfaz del Algasoft. Tomado de Algasoft Algamar S.A

- **Tecnología de procesos**

En el apartado tecnológico, se cuenta con 2 máquinas de control numérico que son las encargadas de conformar el alambre, aunque dichas máquinas están en la compañía hace 20 años, con lo cual no se cuenta con tecnología de punta para el proceso. Las soldadoras, plegadoras y despuntadoras son máquinas altamente manuales, en conclusión, no se cuenta con tecnología de vanguardia para realizar el proceso productivo, es recomendable hacer una inversión en los equipos de la planta con el fin de estar actualizados con las tendencias del mercado, con nuevos productos y desarrollos que impulsen la empresa aún más económicamente.

- **Instalaciones**

La empresa cuenta con dos bodegas, separadas por una calle pública, en la cual en una bodega se tiene la sección de ensamble de puestos de pago, el área de mantenimiento, el área de pintura y el almacén de producto terminado. En la otra bodega se encuentra ubicada la sección de alambre en el segundo piso, limitada por un malacate que sube y baja materia prima y producto terminado generalmente.

Dicha sección cuenta con un área aproximada de 1.023 metros cuadrados, en la que se ubican 15 soldadoras de punto, 2 conformadoras, 4 soldadoras de tope, 4 despuntadoras, 4 plegadoras, 2 soldadoras MIG, 1 troqueladora, y 2 dobladoras de marcos manuales.

### **Salidas de fabricación actuales**

- **Costo**

En términos de costo, la empresa maneja los precios de venta al cliente más económicos del mercado. Enfocándose en acuerdos con proveedores, que disminuyen el costo de materia prima traduciendo esto en menor costo unitario del producto final. En ocasiones, se puede incurrir en costos ocultos que no se tienen en cuenta a la hora de la cotización que pueden impactar de forma negativa la situación financiera de la empresa.

- **Calidad**

Se tiene un área encargada de garantizar la calidad del producto en toda la compañía, enfocado en la sección de alambre se cuenta con una persona que supervisa los estándares, requerimientos y tolerancias de los productos finales que se despachan de la sección, se pueden presentar problemas de calidad causados por los costos ocultos mencionados anteriormente, por ejemplo, se compra una materia prima más económica y más endeble que en ocasiones deforma la parrilla y se obtiene un producto terminado que no es acorde con los requerimientos de los clientes, y se pueden presentar algunas devoluciones de lotes.

- **Rendimiento del producto**

Los productos en general fabricados en esta área son producidos en masa, y en gran cantidad mes a mes para los principales clientes, llevan varios años fabricándolos, con lo cual hay una fidelización y una buena relación cliente-proveedor. Como se mencionaba anteriormente, en ocasiones se presentan devoluciones de productos en mal estado o inconformes, pero se resuelven generalmente sin inconvenientes mayores. Cabe destacar que, si la producción de la planta aumenta, los clientes están en capacidad de atender la oferta y recibir mayor cantidad de productos.

- **Entrega**

En temas de nivel de servicio en la entrega oportuna de las ordenes de producción, se presentan muchas dificultades, ya que por lo general se presentan atrasos en las fechas de entrega por temas de capacidad y administración de la producción. Es una buena oportunidad de mejora para este proyecto ya que el control de las órdenes debido al tipo de fabricación por procesos es complicado, por el contrario, con células de manufactura y procesos orientados al producto se puede realizar una gestión más efectiva de los tiempos de fabricación para calcular la entrega y cumplirle al cliente.

- **Flexibilidad**

En términos de flexibilidad la empresa maneja grandes oportunidades de diversificar sus productos, ya que existe un área de diseño la cual presenta los prototipos y pruebas que posteriormente se evalúan en la zona de matricería con el fin de sacar nuevos productos. El efecto negativo que se presenta es que, en ocasiones debido a la alta flexibilidad de la empresa, no se tienen en cuenta costos ocultos que afectan el rendimiento de la planta, por ejemplo, alto tiempo de uso de recursos críticos que generan grandes costos para productos que no generan unos ingresos comparables y su volumen es muy pequeño.

- **Innovación**

En términos de innovación en la compañía, no se cuenta realmente con muchos cambios en el apartado tecnológico, existen algunos productos ya estandarizados los cuales fabrican constantemente, mientras que hay otros que ingresan nuevos gracias a prototipos del área de Diseño. En dicha área, se realizan las propuestas de los productos y posteriormente se realizan pruebas para evaluar la factibilidad de los diseños.

## **Caracterización del sistema de producción futuro**

Con este proyecto, se plantea cambiar radicalmente el sistema de producción de la planta, cambiar el Layout actual orientado al proceso, por un enfoque hacia el producto. Es decir, las máquinas no están agrupadas

por la función que desempeñan, sino por el producto o el conjunto de productos que van a transformar, con esto se planea usar módulos de manufactura agrupados por familias, los cuales se van a encargar de aumentar la tasa de salida de los productos, disminuyendo los transportes, los inventarios en proceso y las esperas, ya que son tiempos que no añaden valor al producto. Todas las referencias de la compañía están asignadas a dichas familias y se dejó un área destinada a un conjunto de máquinas que van a fabricar elementos con un volumen bajo, muy complejos o nuevos prototipos que se requieran.

Se pretende crear 2 líneas de producción las cuales van a manejar las referencias de mayor volumen de la planta, las cuales piden constantemente y ya están estandarizadas. A su vez, aparte de las líneas mencionadas anteriormente se pretende crear 4 células de manufactura, las cuales poseen un diseño en U, el cual tiene la función de tener los puntos de ingreso de materia prima y producto terminado por el mismo lado, facilitando el manejo de materiales y el espacio implementado en pasillos. Por otro lado, este mismo diseño de estas células permite manejar mayor flexibilidad a pesar de estar orientado al producto, ya que todos los puestos están cerca unos de otros.

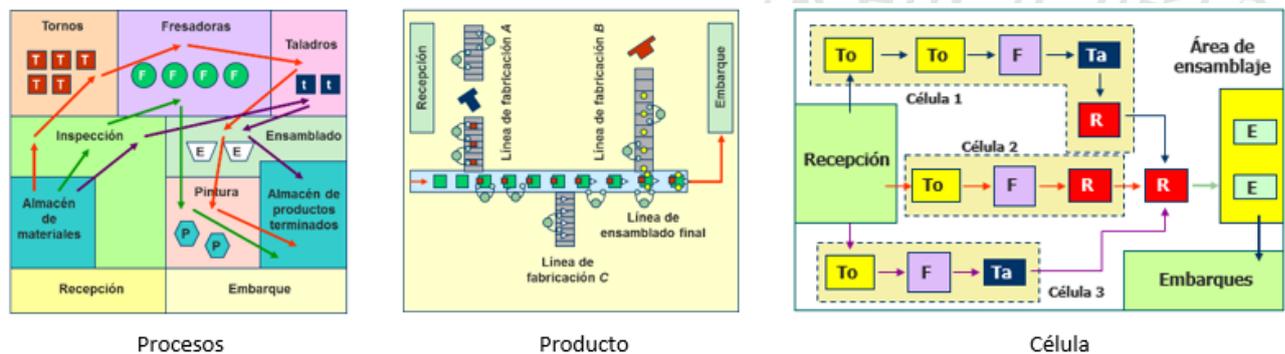


Ilustración 11. Tipos de sistemas de producción mencionados. Tomado de [http://evaluador.doe.upv.es/index.php/Distribuci%C3%B3n\\_en\\_Planta\\_Celular](http://evaluador.doe.upv.es/index.php/Distribuci%C3%B3n_en_Planta_Celular)

Analizando la *Ilustración 11*, se puede observar el flujo por **procesos** que maneja actualmente la planta, las líneas de producción para los **productos** de mayor volumen, y las **células de manufactura** para los demás productos de la compañía. Esta mezcla de estos últimos 2 tipos de sistemas de producción permite eliminar al máximo el inventario en proceso, los transportes realizados al interior de la sección y las esperas de los productos para ser procesados, aumentando la tasa de salida de esas referencias y el volumen de producción de la planta.

## Palancas de fabricación futuros

- **Recursos humanos**

En esta parte, con el aumento de la capacidad de producción, se reduce en un **25.86%** el personal, pasando de tener 116 operarios a tener 86 en total. Los cuales manejan la misma jornada, trabajan 6 días a la semana y 3 turnos de 8 horas cada día.

- **Tecnología de procesos**

Con el aumento de volumen de producción, y teniendo en cuenta que las conformadoras de alambre de control numérico mencionadas anteriormente son una restricción en el sistema, se decidió evaluar la factibilidad con la junta de la compañía de la compra de una nueva conformadora 3D que permite realizar 2 procesos actuales en 1 sólo en mucho menos tiempo por pieza; en aproximadamente un **80.73%** menos para las piezas en 3D.

## Salidas de fabricación futuras

- **Costo**

Para la parte de costo, se tiene que al innovar el proceso y hacerlo más eficiente, se reduce el costo unitario de forma significativa, ya que se reduce el personal y la mano de obra y a su vez se aumenta el volumen de producción.

- **Rendimiento del producto**

Como se mencionaba en el apartado de costos, la capacidad de producción de la planta aumenta considerablemente pasando de producir 103.000 unidades mensuales, a producir 177.000 unidades. Aumentando la capacidad un **71.84%**.

- **Entrega**

Al tener un mayor control de la producción en planta y una buena administración de las células de manufactura y las líneas de producción, se puede tener claridad acerca de las fechas de entrega del cliente. A su vez, se puede monitorear los pedidos y hacer su trazabilidad ya que los puntos de inventario están concentrados en una sola parte en cada módulo de trabajo.

- **Flexibilidad**

En términos de flexibilidad, el diseño en U de la célula de manufactura permite tener mayor diversidad de productos ya que los procesos están en agrupados y cerca el uno del otro, por lo tanto, con pequeñas modificaciones como bandas se pueden interconectar los procesos entre sí.

- **Innovación**

El cambio de sistema de producción en sí, es una innovación para la empresa, ya que al tener el sistema ubicado por procesos, se pueden proponer los principios del JIT (Just in Time), como lo es un Heijunka, un Kanban, entre otras herramientas Lean que permitan obtener un mayor flujo en el proceso y mejorar considerablemente la eficiencia.

### Definición de líneas de producción y células de manufactura

Para comenzar la formulación de la distribución, primero se tiene que realizar una agrupación de todas las referencias de la sección en familias de productos, esta agrupación se realiza ubicando las referencias que realicen exactamente los mismos procesos de forma secuencial en una familia. Inicialmente se trabajó con un total de 73 referencias para conformar 11 familias de la siguiente manera:

Tabla 1. Proceso de clasificación de las referencias de la familia 1. *Elaboración propia*

| FAMILIA | CODIGO CLIENTE | SKU      | REFERENCIA  | DEMANDA CLIENTE | Conformado | plegado | Doblado | Corte | SMIG | Enderezado marcos | Escuadra marcos | SDT | SDP  | Despunte | Enderezado | T.total |
|---------|----------------|----------|---|-----------------|------------|---------|---------|-------|------|-------------------|-----------------|-----|------|----------|------------|---------|
| 1       | 1006560        | 30623-00 | PARRILLA COCINETA AR  | 18172           | 0.90       | 0.76    |         | 0.06  |      | 0.10              | 0.10            |     | 1.50 | 0.50     | 1.20       | 4.92    |
|         | 1006177        | 30587-00 | PARRILLA ESTUFA SP-50 GAS (17)  | 15430           | 1.20       | 1.60    |         | 0.17  |      | 0.10              | 0.10            |     | 2.00 | 0.28     | 1.50       | 6.75    |
|         | 1006421        | 30541-00 | PARRILLA GAS MESON (17)   | 8021            | 0.90       | 0.76    |         | 0.06  |      | 0.10              | 0.10            |     | 1.50 | 0.50     | 1.20       | 4.92    |
|         | challenger     | 30227-05 | Parrilla horno de 76cm, código de desarrollo 06513141-00, código de producto 06513141. En alambre calibre 4, 11. (versión 0). | 400             | 0.44       | 0.80    |         | 2.26  |      | 0.10              | 0.10            |     | 2.10 | 0.30     | 1.20       | 5.90    |
|         | 1006012        | 30396-00 | 2 39mm sap 1006012 (8014481), plano 0110430   | 4220            | 0.60       | 0.82    |         | 0.06  |      | 0.10              | 0.10            |     | 1.50 | 0.50     | 1.20       | 4.68    |
|         | 1006449        | 30595-00 | PARRILL ALAMBRO GAS ESTUFA 60 CRUDA (17)  | 568             | 0.80       | 1.32    |         | 0.17  |      | 0.10              | 0.10            |     | 2.82 | 0.60     | 1.60       | 7.31    |

Observando la *Tabla 1*, podemos encontrar un ejemplo con la familia 1 para esta agrupación. Se encuentra el tipo de familia a la que pertenece, el SKU o el código interno de la empresa de cada producto, el nombre de la referencia, la demanda mensual, y cada uno de los tiempos de los procesos por los cuales pasa, con lo anterior se puede agrupar cada familia que siga los mismos procesos.

Lo anterior, se realizó con cada referencia para agruparlas y como resultado se obtuvo la siguiente matriz Familia-Proceso:

Tabla 2. Matriz Familia-Proceso. *Elaboración Propia*

| Familia | Proceso    |         |         |       |      |                   |                 |     |     |          |            |        |
|---------|------------|---------|---------|-------|------|-------------------|-----------------|-----|-----|----------|------------|--------|
|         | Conformado | Plegado | Doblado | Corte | SMIG | Enderezado marcos | Escuadra marcos | SDT | SDP | Despunte | Enderezado | Pulido |
| 1       | x          | x       |         | x     |      | x                 | x               |     | x   | x        | x          |        |
| 2       | x          |         | x       |       | x    | x                 | x               | x   | x   |          | x          | x      |
| 3       | x          |         |         | x     |      | x                 | x               | x   | x   | x        |            |        |
| 4       | x          | x       | x       |       |      | x                 | x               | x   | x   | x        | x          |        |
| 5       | x          | x       |         |       |      | x                 | x               |     | x   | x        | x          |        |
| 6       | x          | x       |         |       |      | x                 | x               | x   | x   | x        |            |        |
| 7       | x          | x       |         | x     |      | x                 | x               | x   | x   | x        |            |        |
| 8       | x          |         |         | x     |      | x                 | x               | x   | x   | x        |            |        |
| 9       | x          |         |         |       | x    | x                 | x               |     | x   |          | x          | x      |
| 10      | x          | x       | x       |       |      | x                 | x               | x   | x   | x        |            |        |
| 11      | x          |         | x       | x     |      | x                 | x               |     | x   | x        |            |        |

Analizando la Tabla 2, se puede encontrar todos los procesos por los cuales pasan las diferentes familias, la cual es un insumo para el modelo de optimización que se va a formular más adelante.

### Coefficiente de Similitud

El siguiente insumo o entrada para el cálculo del modelo de optimización es el coeficiente de similitud. Este se encarga de evaluar que tan similares o cuantas familias de productos tienen en común 2 procesos o máquinas, con el fin de añadir este parámetro al modelo el cual será el principal insumo de la función objetivo, que en primera instancia es maximizar dicho coeficiente.

Para el cálculo de este se requiere hacer uso de la matriz Familia-Producto y realizar el siguiente procedimiento. Primero se tiene como teoría que el coeficiente más usado es el de Jaccard, este es ampliamente usado en distintos campos con el fin de evaluar el grado de similitud entre 2 objetos, estados, procesos, entre otros. El **coeficiente de Jaccard** se define como:

*Ecuación 1. Coeficiente de Jaccard*

$$S_j = \frac{a}{a + b + c}$$

Puede decirse que en los modelos más comunes, los coeficientes de similitud se calculan sobre caracteres de dos estados, cada uno de los cuales se registra como 1 o 0 (presencia o ausencia), donde a es el número de familias que tienen operaciones en ambas máquinas, b es el número de familias presentes en la máquina "i" pero no "j", c es el número de familias presentes en la máquina "j" pero no "i", y d es el número de productos

ausentes en ambas máquinas(**d sólo aplica para el coeficiente de Rogers y Tanimoto explicado más adelante**).

Con lo cual el anterior coeficiente mide la cantidad de operaciones que tienen en común (a) y castiga el coeficiente por las operaciones que no estén en alguna de las 2 máquinas (b y c).

Otro coeficiente que se usó para el modelo es el de **Rogers y Tanimoto**, el cuál es más reciente e incluye un nuevo parámetro (d) el cuál es el número de productos o familias que están ausentes en las 2 máquinas, por lo tanto, se tiene como similar (a y d) y castiga en mayor medida por familias que no estén en alguna máquina (**2(b+c)**).

Ecuación 2. Coeficiente de Rogers y Tanimoto

$$S_{R\&T} = \frac{(a + d)}{a + 2(b + c) + d}$$

Usando la información de la matriz familia-producto y las ecuaciones mencionadas anteriormente se procede a calcular los siguientes parámetros:

Tabla 3. Coeficiente de similitud de Jaccard. *Elaboración Propia.*

| Coeficiente de Jaccard |               |            |            |          |         |                      |                    |        |        |              |                |
|------------------------|---------------|------------|------------|----------|---------|----------------------|--------------------|--------|--------|--------------|----------------|
|                        | Conformado(1) | Plegado(2) | Doblado(3) | Corte(4) | SMIG(5) | Enderezado marcos(6) | Escuadra marcos(7) | SDT(8) | SDP(9) | Despunte(10) | Enderezado(11) |
| Conformado(1)          | -             | 0.50       | 0.40       | 0.40     | 0.30    | 1.00                 | 1.00               | 0.70   | 1.00   | 0.80         | 0.40           |
| plegado(2)             | 0.50          | -          | 0.29       | 0.13     | 0.14    | 0.50                 | 0.50               | 0.50   | 0.50   | 0.63         | 0.29           |
| Dobladora(3)           | 0.40          | 0.29       | -          | 0.14     | 0.40    | 0.40                 | 0.40               | 0.38   | 0.40   | 0.33         | 0.33           |
| Cortar(4)              | 0.40          | 0.13       | 0.14       | -        | 0.00    | 0.40                 | 0.40               | 0.38   | 0.40   | 0.50         | 0.00           |
| SMIG(5)                | 0.30          | 0.14       | 0.40       | 0.00     | -       | 0.30                 | 0.30               | 0.25   | 0.30   | 0.10         | 0.75           |
| Enderezado marcos(6)   | 1.00          | 0.50       | 0.40       | 0.40     | 0.30    | -                    | 1.00               | 0.70   | 1.00   | 0.80         | 0.40           |
| escuadra marcos(7)     | 1.00          | 0.50       | 0.40       | 0.40     | 0.30    | 1.00                 | -                  | 0.70   | 1.00   | 0.80         | 0.40           |
| SDT(8)                 | 0.70          | 0.50       | 0.38       | 0.38     | 0.25    | 0.70                 | 0.70               | -      | 0.70   | 0.67         | 0.22           |
| SDP(9)                 | 1.00          | 0.50       | 0.40       | 0.40     | 0.30    | 1.00                 | 1.00               | 0.70   | -      | 0.80         | 0.40           |
| Despunte(10)           | 0.80          | 0.63       | 0.33       | 0.50     | 0.10    | 0.80                 | 0.80               | 0.67   | 0.80   | -            | 0.20           |
| Enderezado(11)         | 0.40          | 0.29       | 0.33       | 0.00     | 0.75    | 0.40                 | 0.40               | 0.22   | 0.40   | 0.20         | -              |

En la *Tabla 3*, se encuentran los coeficientes de similitud calculados para cada una de las máquinas según la cantidad de familias que manejan, se tiene de color verde las máquinas que mejor relacionadas están y que es más factible que en el modelo se agrupen, y de color rojo las máquinas que no tienen gran cantidad de familias en común, este coeficiente tiene un rango entre 0 y 1, en donde 0 es que no poseen similitud, y 1 es que tienen alto grado de similitud.

Tabla 4. Coeficiente de similitud de Rogers y Tanimoto. *Elaboración Propia.*

| Coeficiente de Rogers y Tanimoto |            |         |         |       |      |                   |                 |      |      |          |            |
|----------------------------------|------------|---------|---------|-------|------|-------------------|-----------------|------|------|----------|------------|
|                                  | Conformado | Plegado | Doblado | Corte | SMIG | Enderezado marcos | Escuadra marcos | SDT  | SDP  | Despunte | Enderezado |
| Conformado                       | -          | 0.33    | 0.25    | 0.25  | 0.18 | 1.00              | 1.00            | 0.54 | 1.00 | 0.67     | 0.25       |
| plegado                          | 0.33       | -       | 0.33    | 0.18  | 0.25 | 0.33              | 0.33            | 0.43 | 0.33 | 0.54     | 0.33       |
| Dobladora                        | 0.25       | 0.33    | -       | 0.25  | 0.54 | 0.25              | 0.25            | 0.33 | 0.25 | 0.25     | 0.43       |
| Cortar                           | 0.25       | 0.18    | 0.25    | -     | 0.18 | 0.25              | 0.25            | 0.33 | 0.25 | 0.43     | 0.11       |
| SMIG                             | 0.18       | 0.25    | 0.54    | 0.18  | -    | 0.18              | 0.18            | 0.25 | 0.18 | 0.05     | 0.82       |
| Enderezado marcos                | 1.00       | 0.33    | 0.25    | 0.25  | 0.18 | -                 | 1.00            | 0.54 | 1.00 | 0.67     | 0.25       |
| escuadra marcos                  | 1.00       | 0.33    | 0.25    | 0.25  | 0.18 | 1.00              | -               | 0.54 | 1.00 | 0.67     | 0.25       |
| SDT                              | 0.54       | 0.43    | 0.33    | 0.33  | 0.25 | 0.54              | 0.54            | -    | 0.54 | 0.54     | 0.13       |
| SDP                              | 1.00       | 0.33    | 0.25    | 0.25  | 0.18 | 1.00              | 1.00            | 0.54 | -    | 0.67     | 0.25       |
| Despunte                         | 0.67       | 0.54    | 0.25    | 0.43  | 0.05 | 0.67              | 0.67            | 0.54 | 0.67 | -        | 0.11       |
| Enderezado                       | 0.25       | 0.33    | 0.43    | 0.11  | 0.82 | 0.25              | 0.25            | 0.13 | 0.25 | 0.11     | -          |

Revisando la Tabla 4, se observa el cálculo del coeficiente de Rogers y Tanimoto, que posee el mismo formato del coeficiente anterior, donde verde es mayor grado de similitud, es decir, más cercano a 1 y rojo es menor grado, más cercano a 0.

Una vez se tienen los coeficientes calculados, se procede a construir el modelo de optimización.

### Modelo de Optimización

Este modelo puede clasificarse como un modelo de agrupación celular, el cual me permite organizar de la mejor manera un conjunto de elementos según su grado de similitud

La formulación del modelo es la siguiente:

- **Conjuntos**

$M =$  Conjunto de máquinas

- **Parámetros**

$P =$  límite de células a formar

$S_{ij} =$  Similitud entre la máquina  $i$  y la máquina  $j$

$U_i =$  máquinas disponibles tipo  $i$

- **Variables de decisión**

$A_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{Si la máquina } i \text{ se asigna a la célula } j \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$

- **Función Objetivo**

*Ecuación 3. Función objetivo del modelo de optimización*

$$\text{Max } z = \sum_{i \in M} \sum_{j \in M} S_{ij} * A_{ij}$$

- **Restricciones**

1. No se puede asignar más de las máquinas disponibles

*Ecuación 4. Restricción de disponibilidad de máquinas.*

$$\sum_{j \in M} A_{ij} \leq U_i, \quad \forall i \in M$$

2. Todas las máquinas se deben asignar al menos a 1 célula

*Ecuación 5. Restricción de asignación de células disponibles*

$$\sum_{j \in M} A_{ij} \geq 1, \quad \forall i \in M$$

3. El número de células asignadas debe ser menor o igual al límite de células a formar

*Ecuación 6. Restricción de límite de células a formar*

$$\sum_{j \in M} A_{ij} = P$$

4. La cantidad de asignaciones no puede ser mayor a la cantidad de células abiertas

*Ecuación 7. Restricción de células abiertas*

$$A_{ij} \leq A_{jj}, \quad \forall i \in M, \quad j \in M$$

5. Tipo de variable (Binaria)

*Ecuación 8. Restricción de tipo de variable*

$$A_{ij} \in \{0,1\}$$

## **Resultados modelo de optimización**

El modelo planteado anteriormente se implementó en el software Xpress IVE y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 5. Resultado del modelo de Optimización con la ubicación de las máquinas.  
Elaboración propia.

| Células         | Célula 1           | Célula 2           | Célula 3           | Célula 4           |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Máquinas</b> | Plegado            | Plegado            | Plegado            | Plegado            |
|                 | Doblado            | Doblado            | Doblado            |                    |
|                 | MIG                | MIG                |                    |                    |
|                 | Enderezado marcos  | Enderezado marcos  | Enderezado marcos  | Enderezado marcos  |
|                 | Escuadra de marcos | Escuadra de marcos | Escuadra de marcos | Escuadra de marcos |
|                 | SDT                | SDT                | SDT                | SDT                |
|                 | SDP                | SDP                | SDP                | SDP                |
|                 | Despunte           | Despunte           | Despunte           | Despunte           |
|                 | Enderezado Final   | Enderezado Final   | Enderezado Final   | Enderezado Final   |
|                 | Pulido             | Pulido             | Pulido             |                    |

Cabe resaltar que para este modelo no se incluyeron las máquinas que requerían las 2 líneas de producción para los productos de mayor volumen, por lo tanto, el modelo se implementó para agrupar las máquinas restantes destinadas a fabricar la variedad de productos de volumen medio y bajo con el fin de maximizar la similaridad entre las máquinas y agruparlas.

A su vez, se decidió usar en el modelo, el límite de 4 células, ya que según la opinión de los expertos en el proceso, y las restricciones del sistema, no era factible abrir más o menos células.

Las líneas de producción se estructuraron según los procesos que requerían los productos de mayor demanda y posteriormente se realizó el balanceo de línea.

### **Balanceo de línea**

Primero se sacaron los datos que se requieren para calcular el tiempo de ciclo, como lo es el tiempo de producción diario y la demanda diaria. Ver Tabla 6.

Tabla 6. Datos para calcular el tiempo de ciclo de las líneas de fabricación.  
*Elaboración propia*

| Datos                               |       |
|-------------------------------------|-------|
| Tiempo de producción diario (horas) | 24.00 |
| Demanda diaria (lotes)              | 0.73  |
| Tiempo de ciclo(horas/lote)         | 32.97 |

Con los datos de la tabla anterior se procede a realizar el balanceo de línea, como se observa en la Tabla 7, el tiempo de la tarea más larga es inferior al tiempo de ciclo, con lo cual, existe capacidad ociosa, por lo tanto se puede balancear utilizando la heurística del tiempo de tarea más largo de la siguiente manera:

Tabla 7. Balanceo de línea de los productos de mayor volumen. *Elaboración propia*

| Balanceo de línea (Tiempo de tarea mas largo) |                            |                    |        |                    |
|---|----------------------------|--------------------|--------|--------------------|
| Estación de trabajo                           | Candidatos                 | Asignado           | Tiempo | Tiempo asignado no |
| 1   | Plegado-Enderezado Inicial | Plegado            | 10.22  | 22.75              |
|   | Enderezado Inicial         | Enderezado inicial | 5.42   | 17.33              |
| 2   | Soldadura                  | Soldadura          | 32.5   | 0.47               |
| 3   | Enderezado Final           | Enderezado Final   | 27.2   | 5.77               |
| 4   | Empaque                    | Empaque            | 11.66  | 21.31              |
| Suma de tareas                                |                            |                    | 87     |                    |

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Eficiencia del balanceo | 65.98% |
|-------------------------|--------|

Al realizar el balanceo se encontró una eficiencia del **65.98%**, es decir los recursos no se están aprovechando correctamente, ya que el **34.02%** del tiempo no se está aprovechando.

Analizando los procesos, se encontró que los tiempos de los procesos son dispares, el proceso de soldadura y enderezado final manejan tiempos muy altos comparados con los demás procesos. Por lo tanto, se decidió tener 2 puestos en cada uno de estos procesos y optimizar el balanceo de la siguiente manera:

Tabla 8. Balanceo de línea añadiendo 2 puestos de trabajo y optimizando.  
Elaboración Propia

| Balanceo de línea (Tiempo de tarea más largo-Optimizado) |                            |                    |        |                    | TC    |
|--|----------------------------|--------------------|--------|--------------------|-------|
| Estación de trabajo                                      | Candidatos                 | Asignado           | Tiempo | Tiempo no asignado | 16.25 |
| 1  | Plegado-Enderezado Inicial | Plegado            | 10.22  | 6.03               |       |
|  | Enderezado Inicial         | Enderezado inicial | 5.42   | 0.61               |       |
| 2  | Soldadura (2)              | Soldadura          | 16.25  | 0                  |       |
| 3  | Enderezado Final (2)       | Enderezado Final   | 13.6   | 2.65               |       |
| 4  | Empaque                    | Empaque            | 11.66  | 4.59               |       |
| <b>Suma de tareas</b>                                    |                            |                    | 57.15  | 13.88              |       |

|                                |               |                           |
|--------------------------------|---------------|---------------------------|
| <b>Eficiencia del balanceo</b> | <b>87.92%</b> | <b>Balanceo utilizado</b> |
|--------------------------------|---------------|---------------------------|

Observando la Tabla 8, y comparándola con la Tabla 7 podemos encontrar que los tiempos de soldadura y enderezado final se reducen a la mitad ya que se añade un puesto de trabajo, y con el fin de optimizar el balanceo se usa como tiempo de ciclo, el tiempo de la tarea más larga que en este caso es la soldadura.

Este mismo procedimiento se realizó usando las máquinas asignadas por el modelo de optimización, con el fin de balancear las 4 células de manufactura.

Tabla 9. Balanceo de línea Célula 1. Elaboración Propia.

| Balanceo de línea (Tiempo de tarea más largo) |                   |                   |                    |                    | Optimizado |
|---|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------|
| Estación de trabajo                           | Candidatos        | Asignado          | Tiempo(horas/lote) | Tiempo no asignado | 2          |
| 1   | Doblado           | Doblado           | 2                  | 0.00               |            |
| 2   | Enderezado Marcos | Enderezado Marcos | 1.2                | 0.80               |            |
| 3   | SDP               | SDP               | 2                  | 0.00               |            |
| 4   | SDT               | SDT               | 1.93               | 0.07               |            |
| 5   | MIG               | MIG               | 1.35               | 0.65               |            |
| 6   | EnderezadoF       | EnderezadoF       | 1                  | 1.00               |            |
| Suma de tareas                                |                   |                   | 9.48               |                    |            |

|                   |               |
|-------------------|---------------|
| <b>Eficiencia</b> | <b>79.00%</b> |
|-------------------|---------------|

Tabla 10. Balanceo de línea Célula 2. Elaboración Propia.

| Balanceo de línea (Tiempo de tarea mas largo) |                  |                     |                    |                    | Optimizado |
|---|------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------|
| Estación de trabajo                           | Candidatos       | Asignado            | Tiempo(horas/lote) | Tiempo no asignado | 1.8        |
| 1   | Doblado + Marcos | Doblado+Marcos      | 1.77               | 0.03               |            |
| 2   | SDT              | SDT                 | 1.38               | 0.42               |            |
| 3   | SDP(2)           | SDP(2)              | 1.6                | 0.20               |            |
| 4   | Despunte         | Despunte+Enderezado | 1.8                | 0.00               |            |
| Suma de tareas                                |                  |                     | 6.55               |                    |            |

|                   |               |
|-------------------|---------------|
| <b>Eficiencia</b> | <b>88.45%</b> |
|-------------------|---------------|

Tabla 11. Balanceo de línea Célula 3. ELaboración Propia.

| Balanceo de línea (Tiempo de tarea más largo) |                   |                   |                    |                    | Optimizado |
|---|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------|
| Estación de trabajo                           | Candidatos        | Asignado          | Tiempo(horas/lote) | Tiempo no asignado | 23.666     |
| 1   | Plegado-Doblado   | Plegado           | 23.66666667        | 0.00               |            |
| 2   | Enderezado Marcos | Enderezado Marcos | 20                 | 3.67               |            |
| 3   | SDT               | SDT               | 22                 | 1.67               |            |
| 4   | SDP(2)-Despunte   | SDP               | 22.91666667        | 0.75               |            |
| <b>Suma</b>                                   |                   |                   | <b>88.58333333</b> |                    |            |

|                   |               |
|-------------------|---------------|
| <b>Eficiencia</b> | <b>93.57%</b> |
|-------------------|---------------|

Tabla 12. Balanceo de línea Célula 4. Elaboración Propia.

| Balanceo de línea (Tiempo de tarea mas largo) |               |                  |                    |                    | Optimizado |
|---|---------------|------------------|--------------------|--------------------|------------|
| Estación de trabajo                           | Candidatos    | Asignado         | Tiempo(horas/lote) | Tiempo no asignado | 0.63       |
| 1   | SDT           | SDT              | 0.43               | 0.20               |            |
| 2   | SDP(2)        | SDP(2)           | 0.63               | 0.00               |            |
| 3   | Despunte      | Despunte+Plegado | 0.46               | 0.17               |            |
| <b>Suma</b>                                   |               |                  | <b>1.52</b>        |                    |            |
| <b>Eficiencia</b>                             | <b>80.42%</b> |                  |                    |                    |            |

## Simulación del Balanceo de Línea

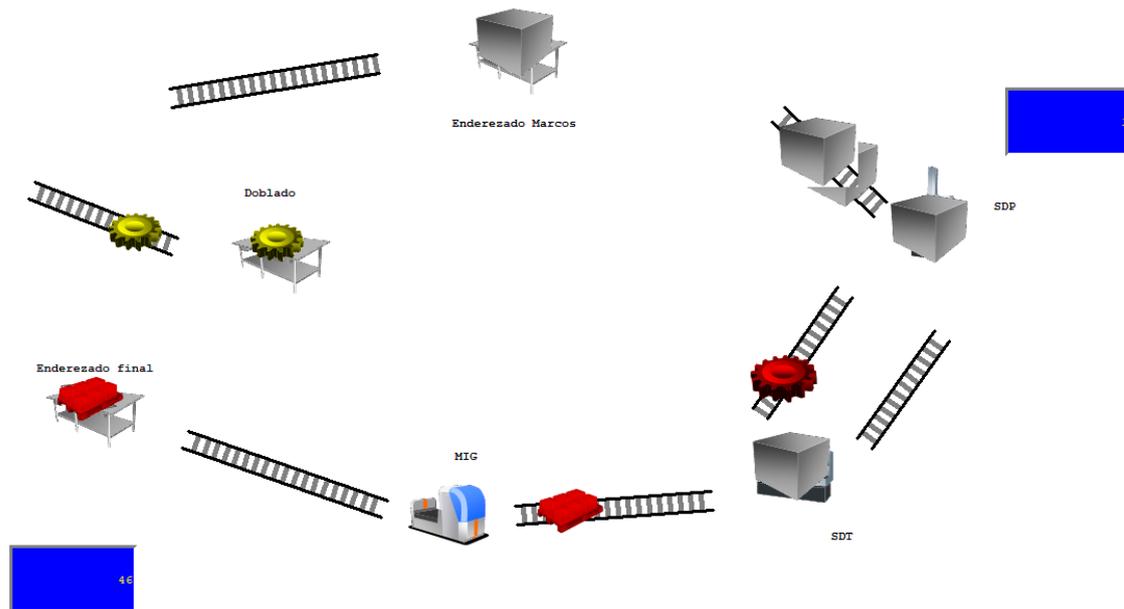


Ilustración 12. Proceso de simulación de la célula 1. *Elaboración propia*

Al ver la *Ilustración 12*, se puede observar el proceso de simulación de los puestos de trabajo la cual permite cuantificar la cantidad de unidades aproximada que es capaz de realizar el módulo de trabajo en un turno. Para este cálculo se tuvieron en cuenta las ineficiencias normales del proceso y los paros programados por desayunos, almuerzos y pausas activas.

A su vez, no sólo se observan las cantidades realizadas por turno, sino el porcentaje de utilización de cada puesto de trabajo, y cuales puestos de trabajos se quedan a la espera de recibir unidades o están más cargados. El software implementado para simular es ProModel.

### Reporte de resultados de la simulación

A continuación, se muestran los resultados arrojados de la simulación de todos los módulos de trabajo con sus respectivas capacidades.

- **Líneas de fabricación 1 y 2**



|                                  |
|----------------------------------|
| Tiempo En Sistema Promedio (Sec) |
| 264.03                           |

Ilustración 13. Reporte de resultados de la línea de fabricación 1 y 2. Elaboración Propia.

De la *Ilustración 13*, se puede analizar que los recursos están utilizados en gran medida, el que mayor porcentaje de utilización posee es el plegado y enderezado inicial con un **94.97%**, mientras que los puestos de empaque y enderezado final con un **74.72%**. Su tiempo en sistema es de 264.03 segundos con lo cual la tasa de salida de esta línea aumenta considerablemente la producción.

- **Célula 1**



|                                  |
|----------------------------------|
| Tiempo En Sistema Promedio (Sec) |
| 358.26                           |

Ilustración 14. Reporte de resultados de la célula 1. *Elaboración propia*

A su vez, esta célula según la *Ilustración 14* tiene el recurso de doblado trabajando en un 99.99%, esto se debe a que la tasa de llegada del modelo es igual al tiempo de esta primera estación, por lo tanto, el recurso mantiene en operación, el segundo recurso crítico es el Enderezado de Marcos que también es un proceso que comienza independiente, para la parte de Soldadura de Tope(SDT) si se tiene un porcentaje de utilización muy alto (**96.12%**). Su tiempo en sistema también es muy reducido (358.26 segundos) lo que permite tener una producción con un flujo mas lineal a comparación del sistema de producción actual que requiere tener inventarios, esperas y transportes innecesarios.

- **Célula 2**



Ilustración 15. Reporte de resultados de la célula 2. *Elaboración Propia*

Para la célula 2 se puede observar en la *Ilustración 15* que aparte del proceso de doblado que es el que comienza el ciclo, las 3 soldadoras de punto (SDP) tienen el tiempo de utilización más alto (**86.84%**). Se tiene un tiempo en sistema de 425.38 segundos. Una unidad que tardaba aproximadamente 50 horas en ser procesada (VSM), ahora se puede llegar a procesar en 7 minutos.

- **Célula 3**

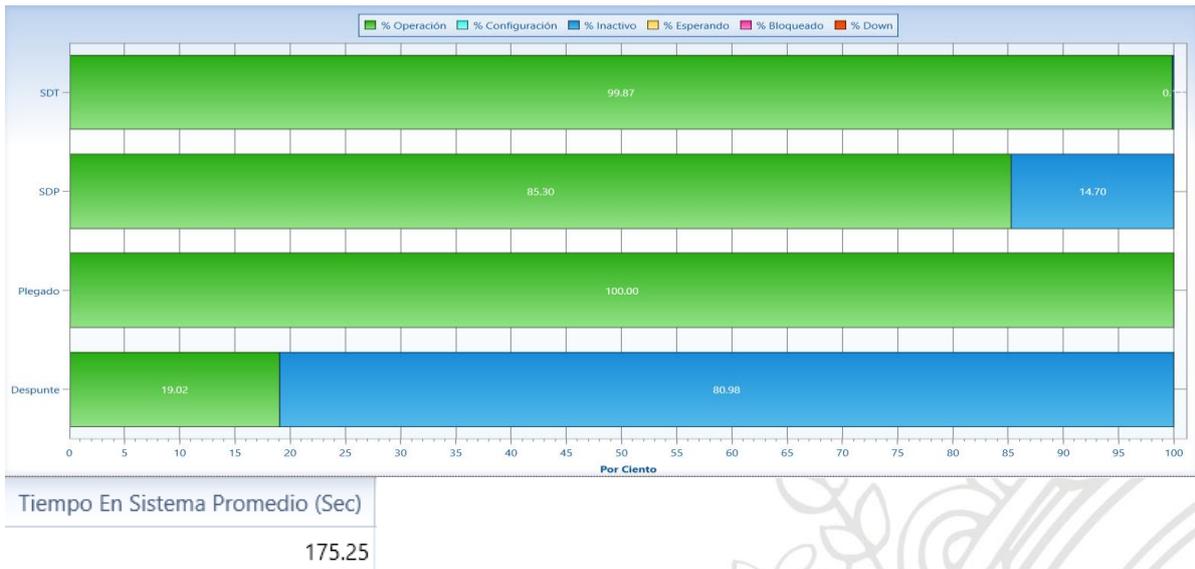


Ilustración 16. Reporte de resultados de la célula 3. *Elaboración Propia*

En el apartado de la célula 3 se tiene la peculiaridad que el proceso de despunte es muy rápido, y el proceso anterior (Plegado) está cargado al **100%**, con lo cual, se obtiene un porcentaje de utilización bajo de este recurso (**19.02%**). Este módulo tiene el menor tiempo en sistema ya que la referencia que se tiene con mayor volumen no tiene tiempos de producción altos.

- **Célula 4**

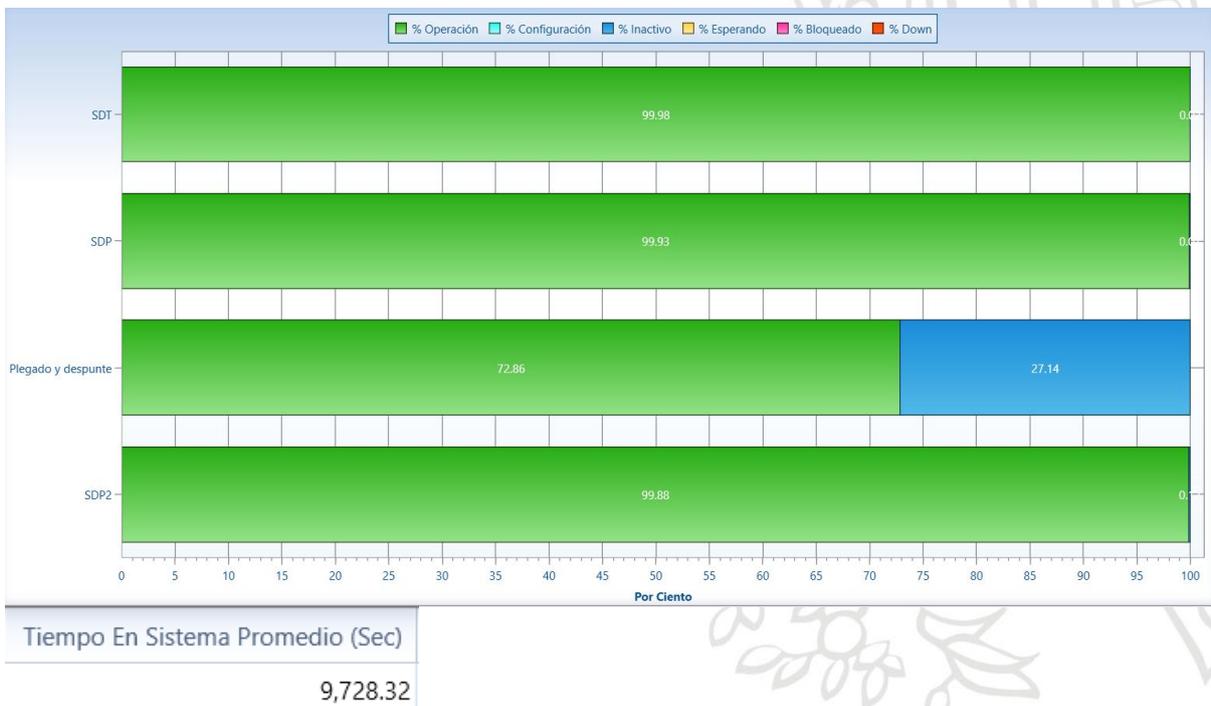


Ilustración 17. Reporte de resultados de la célula 4. *Elaboración Propia*

Analizando la última célula, en la *Ilustración 17* se puede apreciar que la mayoría de los recursos fluyen de manera continua, obteniendo un porcentaje de utilización de todos muy alto, a excepción del Plegado y Despunte, los cuales manejan un porcentaje de utilización de **72.86%**. El tiempo en sistema de este módulo es el más alto ya que contiene gran variedad de diversas diferencias las cuales dificultan el flujo uno a uno del sistema, aun así se reduce considerablemente el tiempo de producción. En este módulo hay gran variedad de referencias con poco volumen.

De forma general, analizando cada balanceo de línea observado en las tablas anteriores, y comparándolo con los resultados de la simulación podemos encontrar que estos en términos de eficiencias son muy similares. Lo que nos indica que el procedimiento está correctamente implementado y a su vez las capacidades obtenidas en la simulación.

**Análisis de las colas antes de cada sistema**



*Ilustración 18. Utilización de las colas de las líneas 1 y 2 (Inventario en proceso). Elaboración Propia.*

Al observar la *Ilustración 18* podemos encontrar que el porcentaje de utilización de cada cola antes de un proceso es muy bajo, sólo se encuentra inventario en proceso en los procesos donde se tenía previsto (Soldadura y el proceso inicial) ya que son procesos que dado al tipo de producto y las restricciones de maquinaria que existen no se pueden manejar con un flujo uno a uno.



Ilustración 19. Utilización de las colas Célula 1. Elaboración Propia.

Como se planteó en el análisis pasado, se encuentra el inventario en proceso en donde se tenía previsto este, y el porcentaje de utilización del resto de nodos de la cadena es muy bajo.



Ilustración 20. Utilización de las colas Célula 2. Elaboración Propia.



Ilustración 21. utilización de las colas Célula 3. Elaboración Propia.

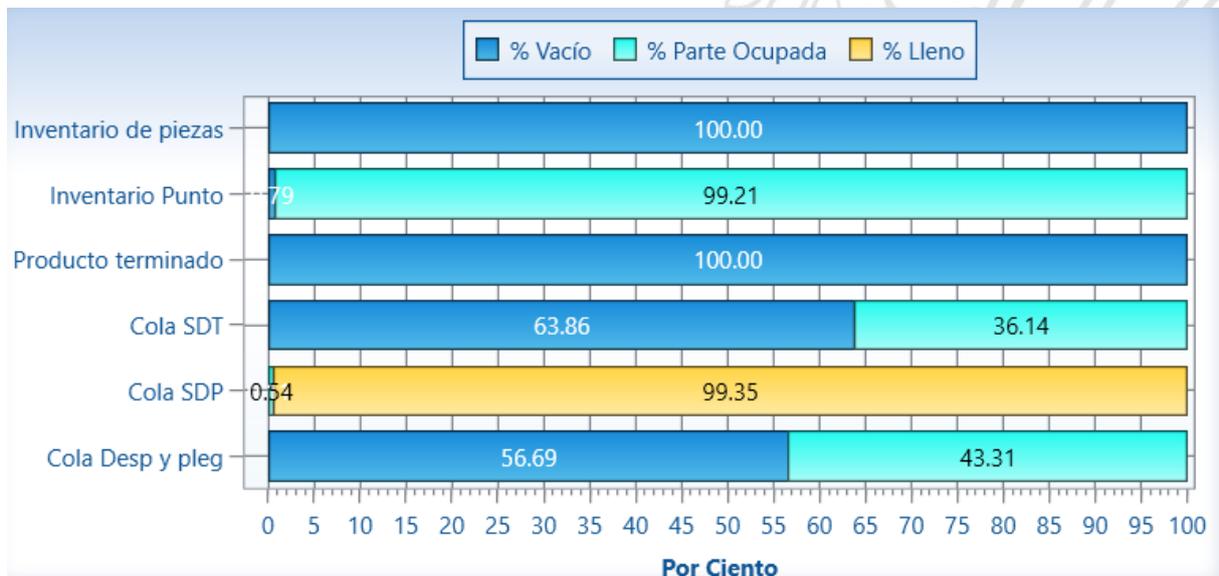


Ilustración 22. Utilización de las colas Célula 4. Elaboración Propia

Observando los módulos en el apartado de inventario en proceso, todos comparten las mismas características, se tiene inventario en proceso antes de soldadura de punto o soldadura en general, ya que este recurso es crítico dentro de la compañía, teniendo mayor impacto en la célula 4 en donde se evidencia de una mayor forma el nivel de inventario que se puede llegar a generar en este punto, debido a esto se evalúa la posibilidad de tener otra soldadura de punto que ayude a incrementar la capacidad de este módulo. Dicho inventario se acumula ya que este módulo maneja una gran variedad de referencias, con muy poco volumen, lo que aumenta tiempos de producción y alistamientos.

## Capacidad de la nueva distribución

Tabla 13. Resultados de capacidad simulados. *Elaboración propia*

| Localización         | Producción Mensual (Unidades) | Demanda | Tiempo por lote(Horas/lote) | Takt Time(Horas/Lote) | Tiempo Simulado(horas) |
|----------------------|-------------------------------|---------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| Línea de ensamble x2 | 75,240                        | 46,811  | 16.58                       | 28.85                 | 504                    |
| Célula 1             | 15,116                        | 13,181  | 33.43                       | 38.24                 |                        |
| Célula 2             | 28,200                        | 16,334  | 26.71                       | 30.86                 |                        |
| Célula 3             | 27,930                        | 16,229  | 22.03                       | 31.06                 |                        |
| Célula 4             | 47,993                        | 20,785  | 10.50                       | 24.25                 |                        |
| Total                | 194,479                       | 113,340 |                             |                       |                        |
| Aumento              | <b>41.72%</b>                 |         |                             |                       |                        |

De la Tabla 13, se puede analizar la cantidad de unidades que es capaz de producir cada módulo de trabajo y la demanda actual de unidades, cabe resaltar que en muchas ocasiones no se cumple con la demanda mensual y se presentan atrasos en los pedidos.

A su vez se observa que para cada uno de los módulos el tiempo por lote es menor al Takt Time, con lo cual se puede cumplir perfectamente con las unidades solicitadas, sino que por paros en las máquinas y otro tipo de eventualidades imprevistas en ocasiones no se cumple con esta. Tomando como punto de referencia la demanda promedio mensual, se obtiene que con esta nueva distribución los módulos son capaces de producir **194.479 unidades**, es decir se aumenta en un **41.72%** la capacidad de la planta con los mismos recursos disponibles con respecto a la demanda mensual de **113.340 unidades**, esto se debe a que se aumenta la velocidad de la tasa de salida de los productos al eliminar al máximo los transportes, el inventario en proceso en la gran mayoría de puestos de trabajo y las esperas.

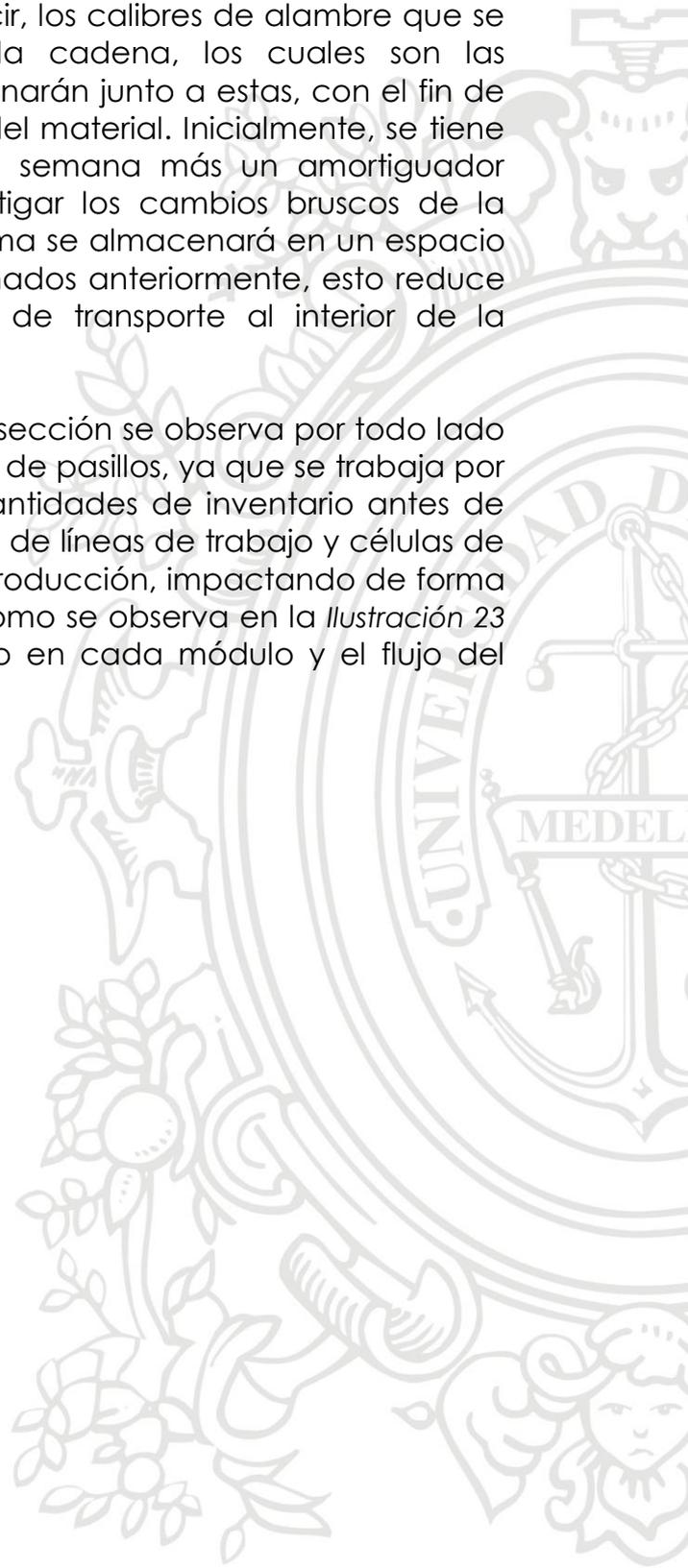
### Evaluación de factores de distribución

- **Factor material**

**Materias primas:** en la nueva distribución de la sección se debe tener en cuenta el área del almacenamiento de la materia prima, actualmente se almacena en el primer piso de la compañía, limitando el traslado de esta al segundo piso (Lugar donde se ubica la planta de alambre) por medio de un elevador o malacate, este proceso es lento ya que sólo se cuenta con este

sistema, y por el mismo fluye materia prima, material o inventario en proceso y producto terminado, en ambos sentidos (Del primer piso al segundo piso y viceversa). Por lo tanto, en la nueva distribución se tendrá en cuenta dicho espacio, ubicado estratégicamente. Es decir, los calibres de alambre que se procesen en los procesos que inician la cadena, los cuales son las conformadoras y las cortadoras, se almacenarán junto a estas, con el fin de disminuir el transporte y costo del manejo del material. Inicialmente, se tiene que se almacenará la producción de la semana más un amortiguador empleando un Kanban con el fin de mitigar los cambios bruscos de la demanda. A su vez, el resto de materia prima se almacenará en un espacio cercano a los 2 tipos de máquina mencionados anteriormente, esto reduce en gran medida indicadores de tiempo de transporte al interior de la compañía.

**Material en proceso:** actualmente en la sección se observa por todo lado material en proceso, incluso en los espacios de pasillos, ya que se trabaja por lotes, lo cual obliga a manejar grandes cantidades de inventario antes de cada inicio de proceso. La implementación de líneas de trabajo y células de manufactura obliga a cambiar el tipo de producción, impactando de forma positiva el flujo del material. Con lo cual, como se observa en la *Ilustración 23* el inventario en proceso está concentrado en cada módulo y el flujo del material es prácticamente uno a uno.



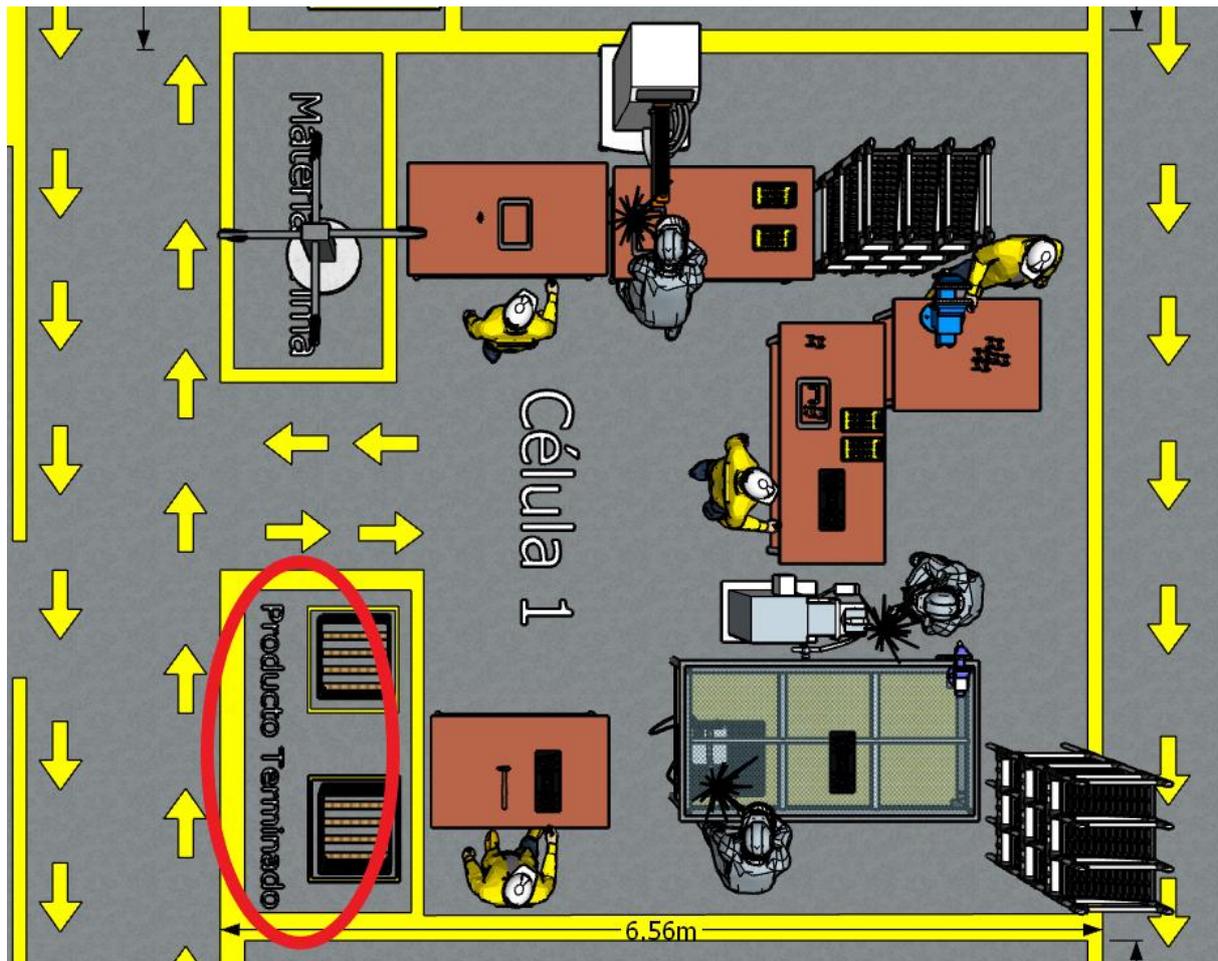


Ilustración 23. Modelo de la Célula 1. *Elaboración propia*

Teniendo demarcados y concentrados en un solo punto los inventarios en proceso de cada módulo se pueden controlar de forma más fácil los órdenes de producción y hacerle un seguimiento a la producción y eficiencia de cada célula de manufactura.

**Producto terminado:** analizando a su vez la Ilustración 23, se tiene resaltado de color rojo el punto de inventario terminado, en donde las unidades procesadas culminan su proceso y se ubican en un solo punto con el fin de facilitar su transporte hacia el área de producto terminado. Como se realizó con el inventario en proceso, cuando se concentra en un solo punto demarcado el inventario se controla de mejor manera el flujo de la producción, evitando generar caos en la planta. Actualmente, se cuenta con todo el inventario, tanto en proceso como terminado, por toda la planta, lo que aumenta la probabilidad de pérdidas de material, confusiones y procesos poco eficientes.

**Material empaçado:** para este caso, se cuentan con 2 zonas de empaque, las cuales se encargan de organizar los productos en huacales o estibas y embalarlos para llevarlos al cliente. Estas zonas están ubicadas de forma estratégica con el fin de abastecer la totalidad de la sección

minimizando los desplazamientos. Este es el último proceso productivo, con lo cual posterior a este se procede a almacenar el producto empacado en la zona destinada para este, hasta que se realice el proceso de despacho al cliente.

**Piezas rechazadas y reprocesos:** para los productos no conformes, que se rechazan totalmente o se pueden reprocesar, se tiene un área destinada de dichos productos que no cumplen con las especificaciones requeridas del cliente, con el fin de que el jefe de sección al finalizar el turno les dé disposición dependiendo de la recuperación que tenga el producto, es decir, si se puede reprocesar o si definitivamente se debe desechar.

**Chatarra, viruta, desperdicios y desechos:** en todo proceso productivo se generan desechos y residuos los cuales se deben desechar o disponer de ellos. En este caso, se tienen barriles en cada módulo los cuales diariamente se vacían con el fin de mantener la sección libre de estos elementos que no agregan valor a los productos que la compañía fabrica.

- **Factor maquinaria**

Tabla 14. Máquinas con área operativa de la sección de Alambre. *Elaboración propia.*

| Máquinas Algamar S.A  |          |          |                   |
|-----------------------|----------|----------|-------------------|
| Máquina               | Largo(m) | Ancho(m) | Área de operación |
| Plegadora 1           | 1.45     | 1.95     | 2.83              |
| Plegadora 2           | 1.45     | 1.95     | 2.83              |
| Plegadora 3           | 1.45     | 1.95     | 2.83              |
| Plegadora 4           | 1.45     | 1.95     | 2.83              |
| Soldadora de Punto 1  | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 2  | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 3  | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 4  | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 5  | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 6  | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 7  | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 8  | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 9  | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 10 | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 11 | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 12 | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 13 | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 14 | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora de Punto 15 | 2.17     | 2.05     | 4.45              |
| Soldadora MIG 1       | 2.40     | 1.64     | 3.94              |
| Soldadora MIG 2       | 2.40     | 1.64     | 3.94              |

|                                |      |      |       |
|--------------------------------|------|------|-------|
| Dobladora de Marcos Manuales 1 | 2.08 | 1.40 | 2.91  |
| Dobladora de Marcos Manuales 2 | 2.08 | 1.40 | 2.91  |
| Conformadoras                  | 9.01 | 5.80 | 52.26 |
| Despuntadora 1                 | 1.42 | 1.07 | 1.52  |
| Despuntadora 2                 | 1.42 | 1.07 | 1.52  |
| Despuntadora 3                 | 1.42 | 1.07 | 1.52  |
| Despuntadora 4                 | 1.42 | 1.07 | 1.52  |
| Troqueladora                   | 1.68 | 1.87 | 3.14  |
| Soldadora Multipunto           | 3.33 | 1.72 | 5.73  |
| Soldadora de Tope 1            | 2.25 | 1.62 | 3.65  |
| Soldadora de Tope 2            | 2.25 | 1.62 | 3.65  |
| Soldadora de Tope 3            | 2.25 | 1.62 | 3.65  |
| Soldadora de Tope 4            | 2.25 | 1.62 | 3.65  |
| Cortadoras                     | 6.70 | 6.70 | 44.89 |

De la Tabla 14, encontramos la información de las medidas del área operativa de cada una de las máquinas de la sección, estas se usaron para calcular el espacio requerido de cada módulo según la cantidad de máquinas que requiere. Actualmente no se tiene la compra de una nueva conformadora, ya que aún está en proceso de aprobación por parte de la junta directiva. El fin de esta nueva máquina es incrementar la capacidad de la planta ya que todos los productos a excepción de una referencia pasan por conformado. Por lo tanto, es la restricción clave de la sección, dicha máquina tiene la capacidad de realizar piezas en 3D lo cual liberaría carga a las máquinas de plegado también.

- **Factor hombre**

Tabla 15. Comparativo del personal entre actual y futuro. *Elaboración Propia.*

## DATOS

| Actual      |         |                    |
|-------------|---------|--------------------|
| Producto    | Volumen | Número de personas |
| Parrillería | 36.288  | 116                |
| Entrepaños  | 60.430  |                    |
| N700        | 15.000  |                    |
| Total       | 111.768 |                    |

## OBJETIVO

| Proyección  |         |                    |
|-------------|---------|--------------------|
| Producto    | Volumen | Número de personas |
| Parrillería | 36.288  | 86                 |
| Entrepaños  | 60.430  |                    |
| N700        | 15.000  |                    |
| Total       | 111.768 |                    |

De la Tabla 15 se encuentra la información entre el personal requerido para la producción promedio de la planta y el personal requerido futuro implementando la redistribución para fabricar la misma cantidad de

producción. En conclusión, se disminuye el número de personas requerido en un **25.86%** para fabricar el mismo volumen de unidades.

- **Factor movimiento**

Este factor es uno de los de mayor impacto en la comparación entre la situación actual y la futura, ya que se cambió el flujo de la producción y se enfocó en el producto. Por lo tanto, el manejo de materiales se realiza de una forma mucho más ágil ya que no existen grandes lotes de inventario esperando ser procesados en cada punto de la cadena de producción. Por el contrario, el flujo uno a uno de cada módulo, permite aumentar la velocidad de la tasa de salida de las unidades, disminuyendo los tiempos de transporte, esperas y nivel de inventarios.

- **Factor espera o almacenamiento**

Las esperas son tiempos muertos dentro de un proceso productivo que se hacen necesarias por múltiples situaciones, lo ideal es eliminarlas al máximo ya que no añaden valor al producto. El producto se encuentra quieto en un sólo lugar acarreado grandes costos, por ejemplo:

- Costo del manejo efectuado hacia el punto de espera.
- Costo del manejo en el área de espera.
- Costos de espacios y protección del material contra el ambiente.
- Interés del dinero representado por el material ocioso.

En este caso, se eliminaron al máximo las esperas, dejando sólo como puntos de inventario antes del proceso de soldadura ya que son una gran cantidad de piezas pequeñas fabricadas sólo por 2 máquinas lo que obliga a tener lotes, debido a que la naturaleza del proceso no permite tener un flujo uno a uno. Las áreas de almacenamiento como se mencionaba anteriormente en el factor material están ubicadas estratégicamente con el fin de mantener un flujo continuo en la planta, disminuyendo las distancias del transporte que el material tiene que recorrer.

- **Factor servicio**

Para evaluar este factor, se incluyeron temas de iluminación, ventilación de los espacios, lugares establecidos para baños, los lockers de los operarios. Los cuales son actividades auxiliares que permiten desempeñar el proceso productivo y permiten a los operarios desempeñar sus tareas de forma ergonómica y eficiente.

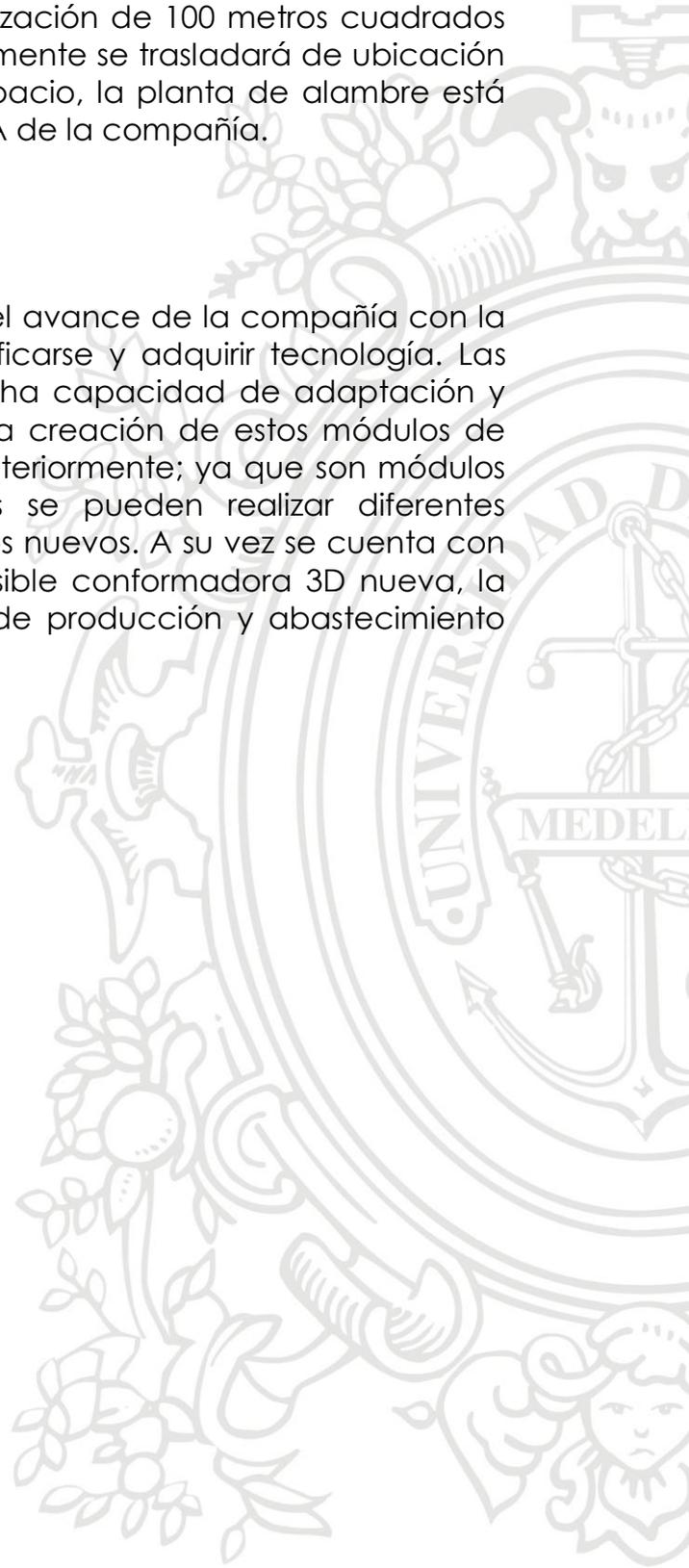
Para los servicios relacionados a las máquinas, la empresa cuenta con un área de mantenimiento encargada de realizar la puesta a punto de estas, a su vez se tuvo en cuenta lugares de extintores, botiquín.

- **Factor edificio**

En términos de infraestructura y edificio, la distribución se va a realizar en la planta actual, el único cambio es la utilización de 100 metros cuadrados de la sección de cerrajería la cual próximamente se trasladará de ubicación con lo cual se puede disponer de este espacio, la planta de alambre está ubicada en el segundo piso de la bodega A de la compañía.

- **Factor cambio**

Este factor se enfoca en el desarrollo y el avance de la compañía con la nueva distribución, la posibilidad de tecnificarse y adquirir tecnología. Las empresas hoy en día deben manejar mucha capacidad de adaptación y flexibilidad en sus procesos, por lo tanto, la creación de estos módulos de trabajo fomenta la afirmación realizada anteriormente; ya que son módulos en forma de U, flexibles, en los cuales se pueden realizar diferentes combinaciones de procesos para productos nuevos. A su vez se cuenta con espacio extra para la compra de una posible conformadora 3D nueva, la cual ayudará a aumentar la capacidad de producción y abastecimiento interno de la planta.



## Propuestas de distribución

- **Propuesta 1 (Ver Ilustración 24)**

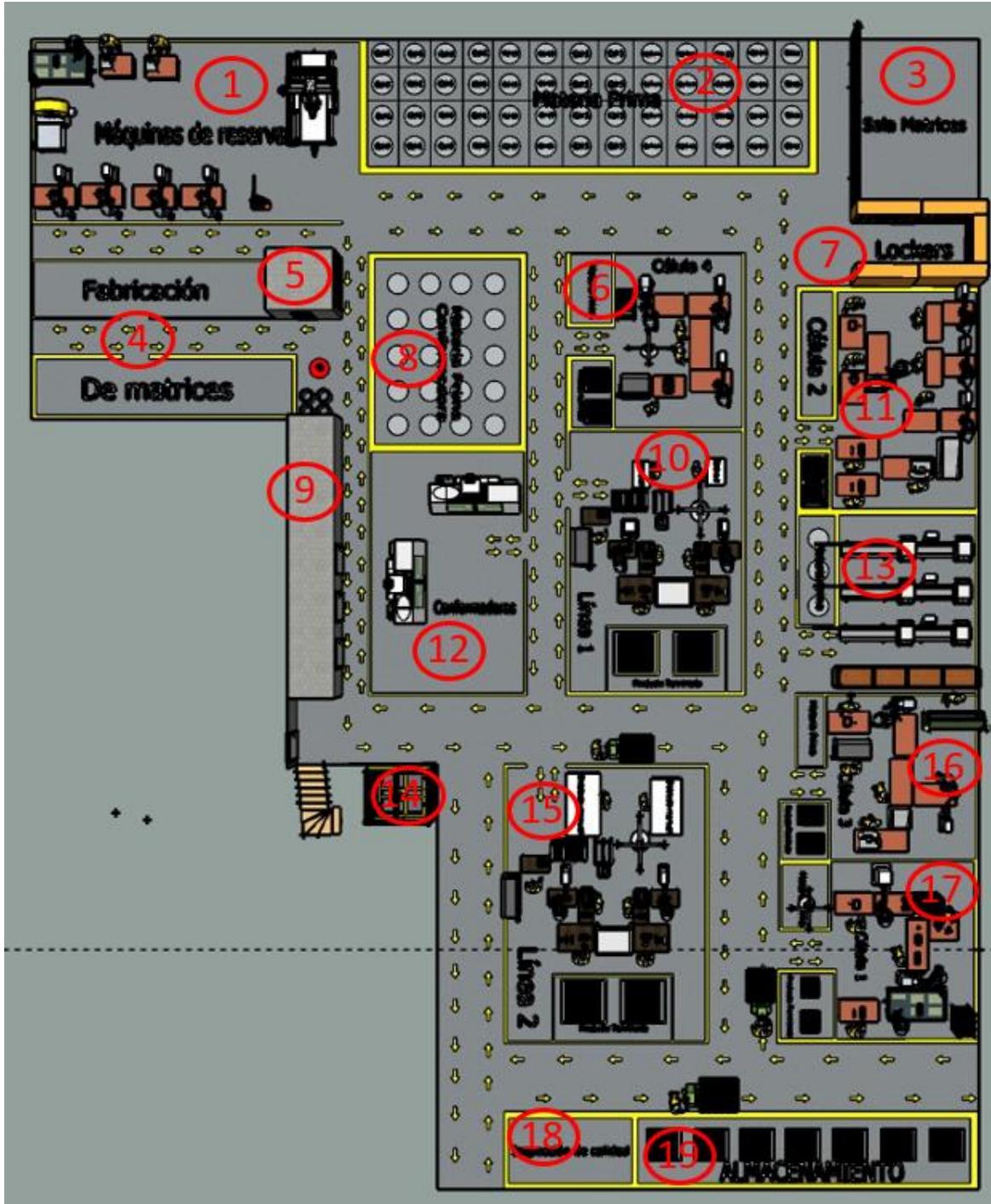


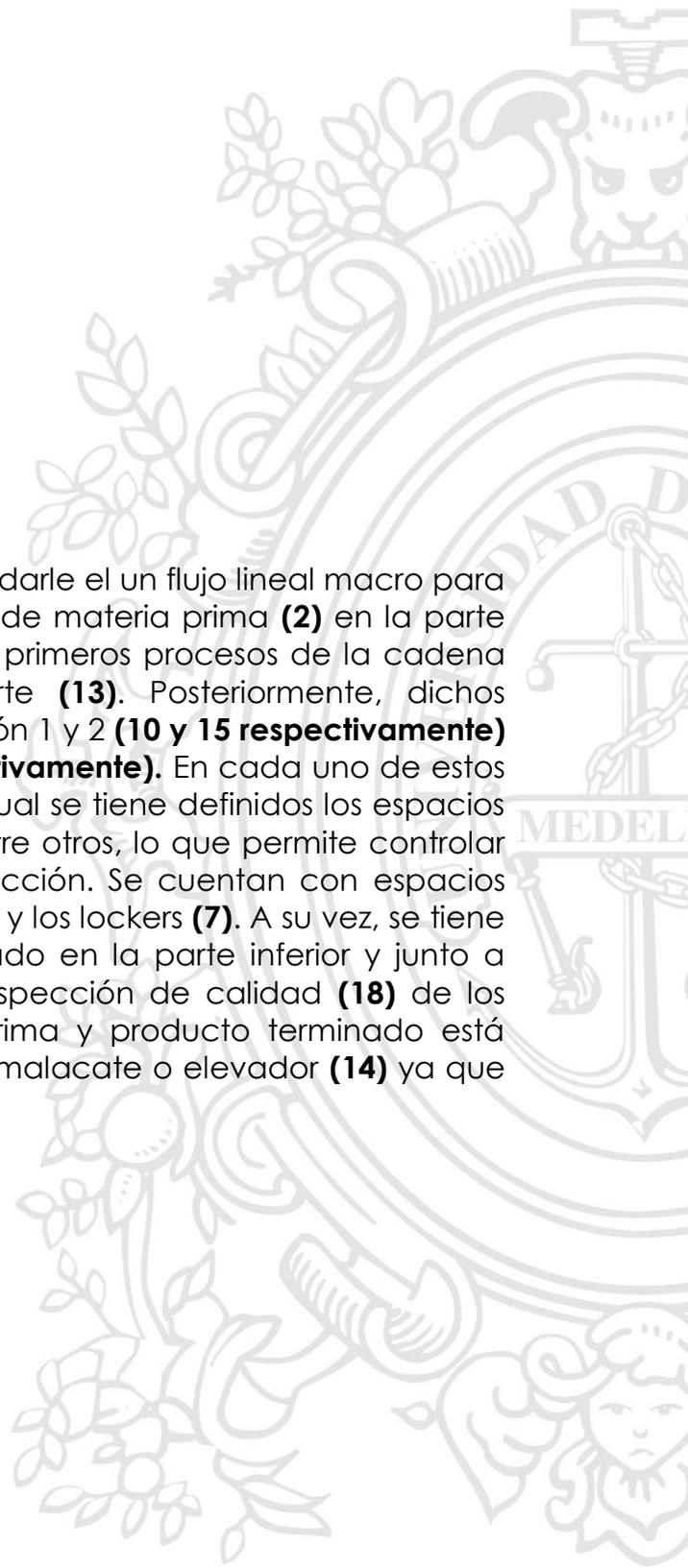
Ilustración 24. Propuesta 1 de redistribución. *Elaboración Propia. Software: Google SketchUp.*

### **Distribución:**

1. Zona de máquinas de reserva
2. Zona de materia prima

3. Sala de matrices
4. Zona de fabricación de matrices
5. Oficina de jefe de sección
6. Célula 4
7. Zona de Lockers
8. Materia prima de la Conformadora
9. Baños de la sección
10. Línea de producción 1
11. Célula 2
12. Zona de Conformado
13. Zona de Corte
14. Malacate (Elevador)
15. Línea de producción 2
16. Célula 3
17. Célula 1
18. Inspección de calidad
19. Almacenamiento

El objetivo de esta primera propuesta es darle el un flujo lineal macro para toda la sección, es decir, manejar la zona de materia prima **(2)** en la parte superior de la planta, la cual abastece los primeros procesos de la cadena los cuales son: Conformado **(12)** y Corte **(13)**. Posteriormente, dichos procesos abastecen las Líneas de producción 1 y 2 **(10 y 15 respectivamente)** y las células 1, 2,3 y 4 **(17, 11, 16 y 6 respectivamente)**. En cada uno de estos módulos se tiene un flujo uno a uno en el cual se tiene definidos los espacios de producto terminado, materia prima, entre otros, lo que permite controlar de una mejor forma las órdenes de producción. Se cuentan con espacios para los operarios como lo son los baños **(9)** y los lockers **(7)**. A su vez, se tiene el espacio de almacenamiento **(19)** ubicado en la parte inferior y junto a este un espacio para que se realice la inspección de calidad **(18)** de los productos, todo el manejo de materia prima y producto terminado está sujeto a la restricción de disponibilidad del malacate o elevador **(14)** ya que la planta está en un segundo piso.



- Propuesta 2 (Ver Ilustración 25)

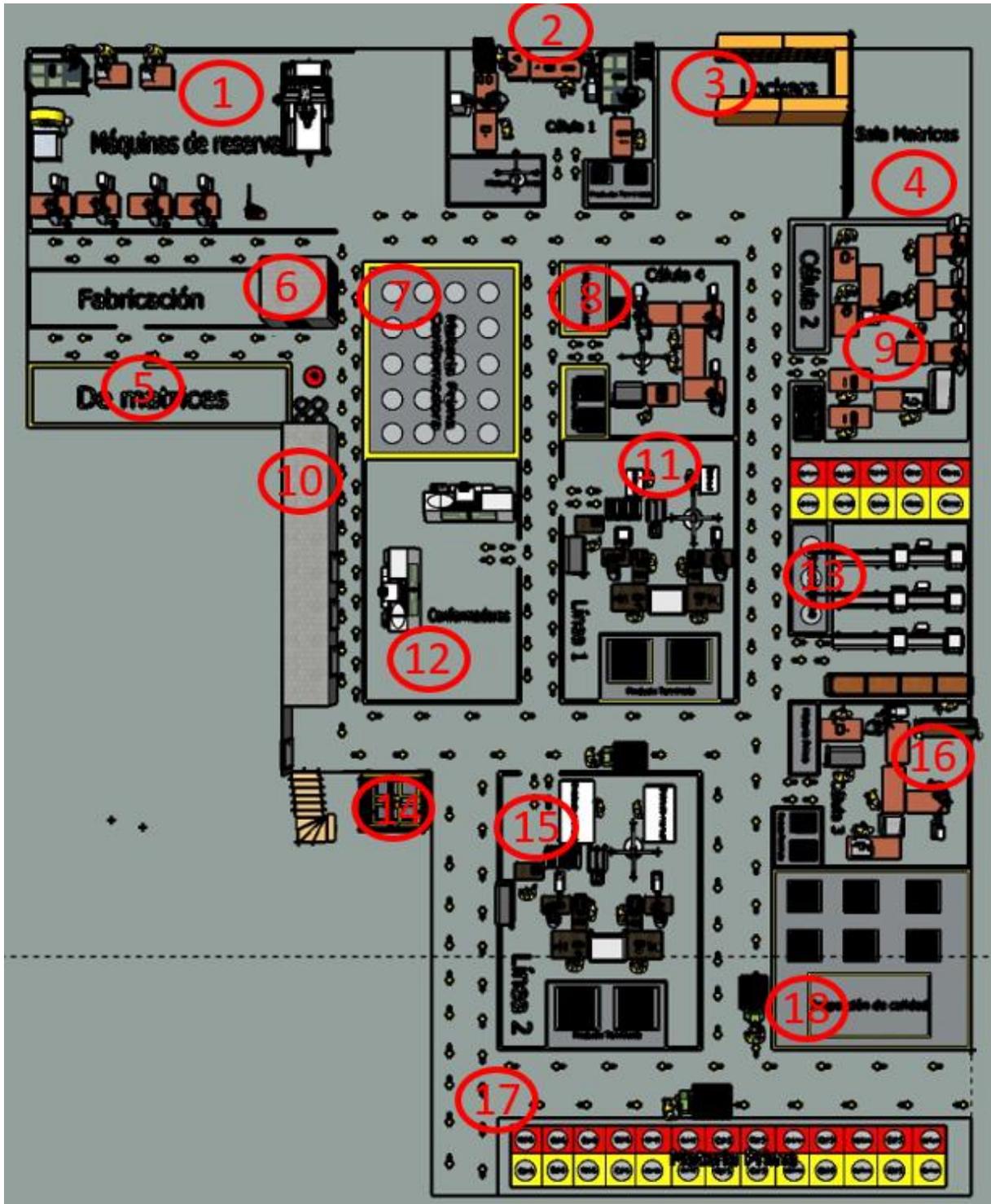


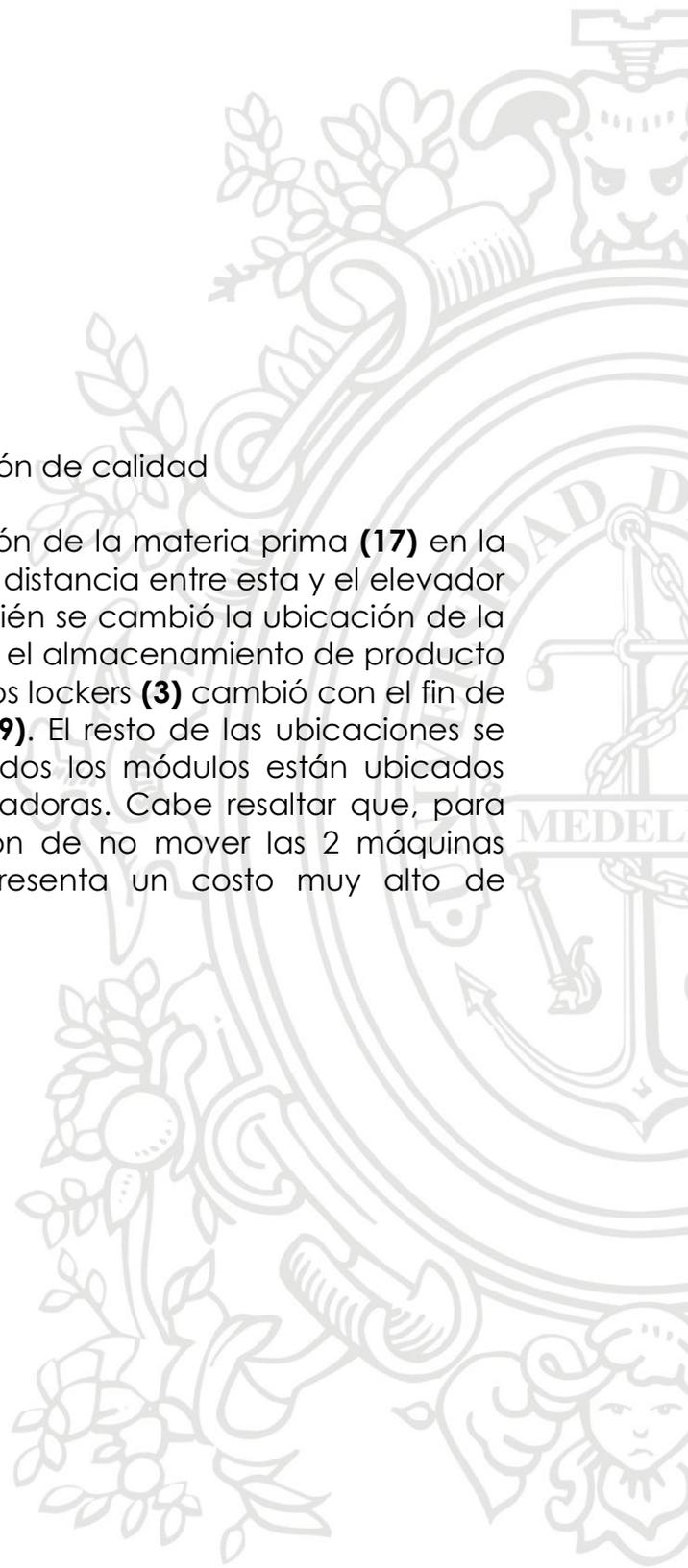
Ilustración 25. Propuesta 2 redistribución. *Elaboración propia. Software: Google SketchUp*

**Distribución:**

1. Zona de máquinas de reserva
2. Célula 1

3. Zona de Lockers
4. Sala de matrices
5. Zona de fabricación de matrices
6. Oficina de jefe de sección
7. Materia Prima de Conformado
8. Célula 4
9. Célula 2
10. Zona de baños
11. Línea de producción 1
12. Conformadoras
13. Zona de corte
14. Malacate (Elevador)
15. Línea de producción 2
16. Célula 3
17. Zona de materia prima
18. Zona de almacenamiento e inspección de calidad

En esta propuesta se cambió la ubicación de la materia prima **(17)** en la parte inferior con el objetivo de minimizar la distancia entre esta y el elevador **(14)**, comparada con la propuesta 1. También se cambió la ubicación de la Célula 1 **(2)** para emplear este espacio con el almacenamiento de producto terminado **(18)** y a su vez, la ubicación de los lockers **(3)** cambió con el fin de aprovechar este espacio con la célula 2 **(9)**. El resto de las ubicaciones se mantienen igual que la propuesta 1, y todos los módulos están ubicados alrededor de las conformadoras y las cortadoras. Cabe resaltar que, para todas las propuestas, se tiene la restricción de no mover las 2 máquinas mencionadas anteriormente ya que representa un costo muy alto de adecuación e infraestructura.



### Propuesta 3 (Ver Ilustración 26)

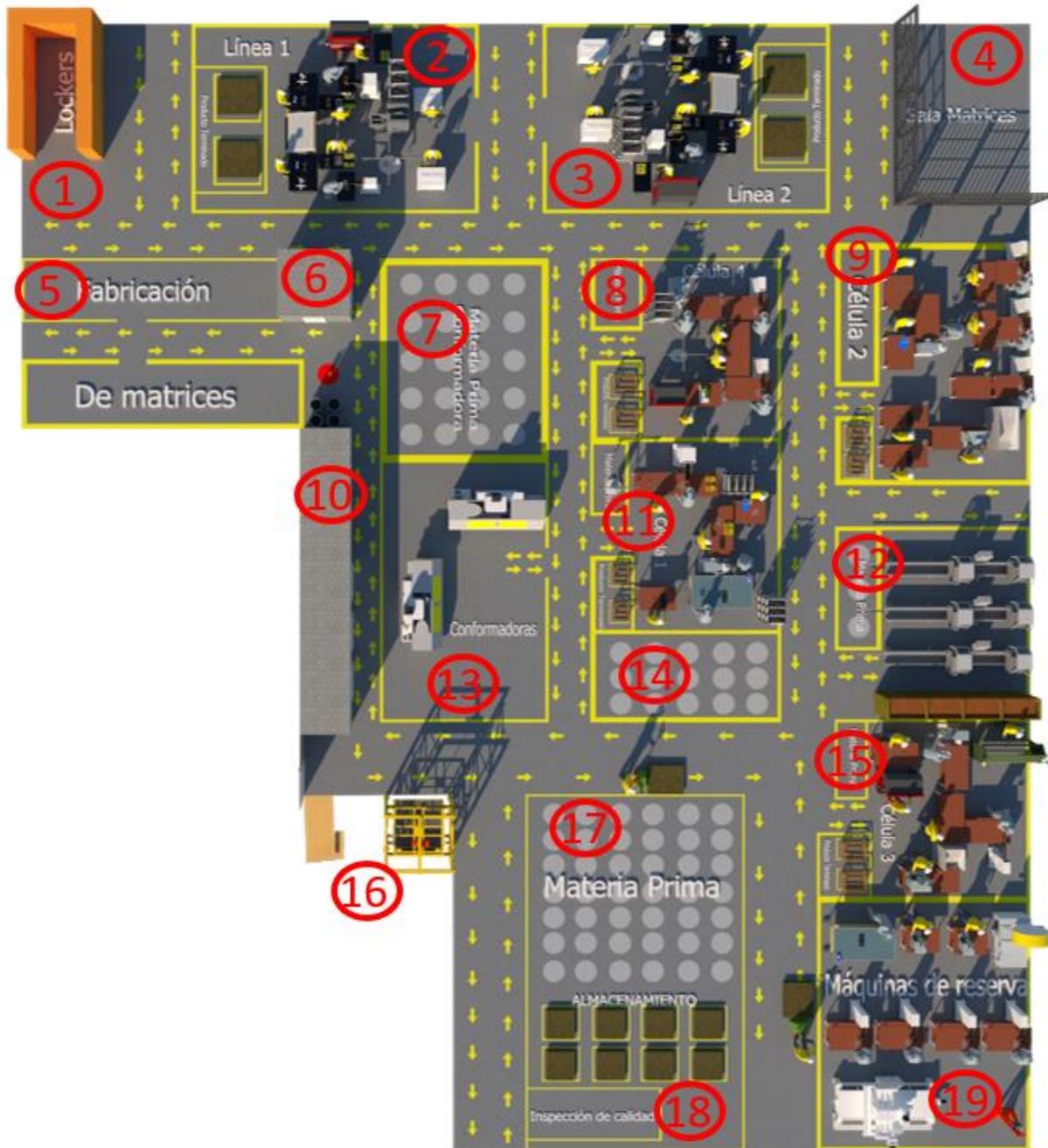


Ilustración 26. Propuesta 3 redistribución. Elaboración Propia. Software: Google SketchUp

#### **Distribución:**

1. Zona de lockers
2. Línea de producción 1
3. Línea de producción 2
4. Sala de matrices
5. Zona de fabricación de matrices

6. Oficina de jefe de sección
7. Materia prima de conformado
8. Célula 4
9. Célula 2
10. Zona de baños
11. Célula 1
12. Zona de corte
13. Zona de conformado
14. Materia prima cortadoras
15. Célula 3
16. Malacate (Elevador)
17. Materia Prima
18. Almacenamiento de producto terminado e inspección de calidad
19. Zona de máquinas de reserva

En esta propuesta se decidió cambiar las líneas de producción **(2 y 3)** para la parte superior y ubicar la materia prima **(7)** y el producto terminado **(18)** al centro de la planta. Por el contrario, las máquinas de reserva **(19)** las cuales se encargan de fabricar referencias complicadas y variadas, se ubicarán en la parte inferior de la planta. En esta distribución la materia prima se ubica alrededor de las cortadoras **(12)** y las conformadoras **(13)** permitiendo realizar un flujo más rápido y efectivo del material, tanto por el elevador **(16)** como por las máquinas de inicio de proceso de conformado y corte.

Tabla 16. Ventajas y desventajas de las distribuciones. *Elaboración propia.*

| Propuesta          | Ventajas   | Desventajas  |
|--------------------|--|--|
| <b>Propuesta 1</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se tiene un flujo de materia prima concentrado en la parte superior que fluye lineal por toda la sección.</li> <li>• El espacio de almacenamiento se ubica en el extremo inferior y posibilita almacenar los productos de forma controlada.</li> <li>• Las líneas de producción 1 y 2, las cuales son las que manejan el mayor volumen, están cercanas a las conformadoras y cortadoras, máquinas que suministran el</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se presentan altos tiempos de desplazamiento entre la materia prima y las cortadora y conformadoras, las cuales inician el proceso de la mayoría de las referencias.</li> <li>• La distancia entre el elevador (Lugar por donde entra materia prima y sale producto terminado) y la zona de materia prima y producto terminado es muy alta, lo que implica altos tiempos</li> </ul> |

|                    |   |   |
|--------------------|---|---|
|                    | material para dichos módulos.   | de desplazamiento para manejar dichos materiales.   |
| <b>Propuesta 2</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se cambió la ubicación de los lockers con el fin de ampliar el espacio de la célula 2 y alejarla del ruido que emiten las cortadoras.</li> <li>• Se concentra la materia prima y el producto terminado en la zona disponible más cercana al malacate.</li> <li>• Al igual que la propuesta 1, las líneas de producción 1 y 2 están más cercanas al puesto de conformado del cual se abastece.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existen células y módulos muy alejados de la materia prima y del producto terminado (Célula 1 y Célula 4).</li> <li>• Existen zonas que no se pueden utilizar correctamente y se generan gran cantidad de espacios sin usar. Por ejemplo, alrededor de la célula 1.</li> </ul> |
| <b>Propuesta 3</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se tiene la materia prima cercana a los procesos iniciales (Conformado y corte) y a su vez se tiene dicho almacenamiento cercano al elevador, facilitando el manejo del material y el transporte de este.</li> <li>• El área de almacenamiento también queda cerca al elevador disminuyendo los tiempos invertidos en transportar el material desde la zona de almacenamiento hasta el elevador.</li> <li>• Los lockers se trasladaron hacia la zona más alejada de la planta para mayor facilidad.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las líneas de producción 1 y 2 están muy alejadas del área de almacenamiento de producto terminado.</li> </ul>   |

En la Tabla 16 se pueden encontrar las distintas ventajas y desventajas de cada una de las propuestas de distribución. Evaluando con los expertos de la compañía y realizando la mejor configuración posible y necesaria para el proceso actual, se decide elegir la propuesta 3. Ya que centra el flujo de materia prima y producto terminado, alrededor de los lugares donde se requieren, por ejemplo, la materia prima alrededor de las conformadoras y las cortadoras y el producto terminado cerca al elevador para disminuir el tiempo de desplazamiento de dichos productos. Las líneas de producción 1 y 2, se encuentran muy alejadas de la zona de almacenamiento. Aun así, el proceso de traslado del producto terminado de los módulos a dicha zona no es crítico en el proceso y dadas las circunstancias actuales y el espacio de la planta, no era posible tener todas las áreas cercanas de forma ideal.

En la Ilustración 27, se puede apreciar algunos de los módulos de mayor volumen de la sección de alambre, el área de conformado, se puede apreciar los pasillos bien definidos y marcados, el área de almacenamiento de materias primas de cada una de las máquinas principales, los puntos de almacenamiento de producto terminado correctamente marcado, todo con el fin de facilitar el control de producción de la sección y aumentar la velocidad de la tasa de salida de los productos, disminuyendo inventario, esperas y transportes.

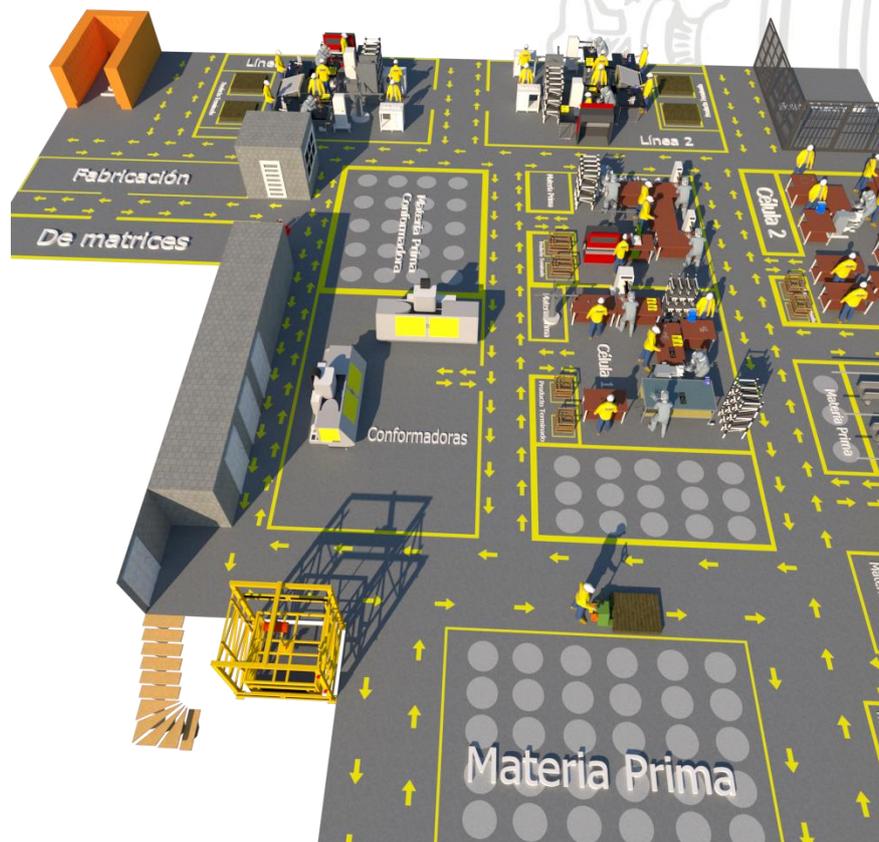


Ilustración 27. Vista parcial del modelo de la planta. *Elaboración Propia. Software: Google SketchUp*

## CONCLUSIONES

Las plantas de manufactura que poseen un tipo de sistema de producción por procesos son por lo general plantas que requieren de una flexibilidad elevada, pero incurren en muchos costos de transporte, inventario y esperas, ya que, por su tipo de sistema, es necesario que trabajen por lotes, e ir acumulando producto en proceso en cada estación. Los costos mencionados anteriormente, son procesos que no agregan valor al producto, el cliente no está dispuesto a pagar por el tiempo y los recursos empleados en maniobrar el material, trasladarlo o empacarlo. Por lo tanto, reducir dichos tiempos se ha convertido en una problemática seria de muchas compañías.

El caos y la falta de orden aumentan la dificultad de rastrear los órdenes de producción en la sección de alambre de Algamar S.A y tener un mayor control de las unidades. Luego de realizar la recolección de información en la sección, se encontró que los transportes, inventario en proceso y esperas generan un impacto negativo del **64.36 %** en la eficiencia actual de **35.64%**. Por lo tanto, se presenta una gran oportunidad de mejora en dicho indicador al reducir los tiempos que no añaden valor en este proceso, lo anterior se halló de los VSM actual y futuro mostrados anteriormente en la Ilustración 6 y la Ilustración 7.

Teniendo claro el impacto que se podría lograr, se caracterizó el sistema de producción y el futuro encontrando grandes diferencias, como por ejemplo el pasar de trabajar por lotes en todo el proceso, a limitar el inventario antes de un solo punto en la cadena y luego realizarlo uno a uno, siguiendo la filosofía Lean del JIT (Just in Time).

Teniendo claro la necesidad de cambiar el sistema de producción se decide trabajar por módulos de fabricación, agrupando los productos en familias, en total se clasificaron 39 referencias en 11 familias, esto con el fin de calcular el coeficiente de similaridad de las máquinas el cual fue el insumo principal del modelo de optimización que me maximiza dicho coeficiente.

Luego de balancear y simular los módulos de fabricación se encontró que se puede aumentar la capacidad de la planta de **113.340 unidades** a **194.479 unidades**, es decir, un aumento de capacidad del **41.72%**. Dicho aumento se produce gracias a que el tiempo empleado en transportes e inventario, se empleó para aumentar la tasa de salida de los productos. Al no tener inventario se reducen una gran cantidad de costos, se disminuye el riesgo a perder producto por daño u obsolescencia y se mejora el control de la producción de la sección teniendo concentrados y debidamente rotulados los inventarios de todas las referencias. Se disminuye el riesgo de

tener sobre-inventario por pérdida de material dentro de la misma sección, situación que se presenta a menudo.

Actualmente, el proyecto está avalado y aprobado por la gerencia de la compañía y se está trabajando en la adecuación de los equipos para realizar la prueba piloto con la línea de producción 1. (Ver Ilustración 28 e Ilustración 29). Posteriormente, con los resultados de dicha prueba piloto se procederá a realizar la redistribución y adecuación completa de toda la sección. El resto de la sección se encuentra por procesos. (Ver Ilustración 30).



Ilustración 28. Avance de adecuaciones en la sección de la línea de fabricación 1.  
*Elaboración Propia*



Ilustración 29. Avance de la sección en la adecuación. *Elaboración Propia.*





Ilustración 30. Sector de soldadura. Elaboración Propia



## BIBLIOGRAFÍA

- Bernal Loaiza, M. E., Sarmiento, G. C., & Restrepo Correa, J. H. Productividad en una celda de manufactura flexible simulada en promodel utilizando path networks type crane., 19Productivity in a flexible manufacturing cell simulated in promodel using path networks type crane. 133–144 (2015). Tecnura. Retrieved from <http://10.0.56.147/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a10>
- Bocanegra-Herrera, C. C., & Orejuela-Cabrera, J. P. (2017). Cellular Manufacturing System Selection with Multi-lean Criteria, Optimization and Simulation. *Selección de Sistemas de Manufactura Celular Con Múltiples Criterios Lean, Optimización Y Simulación.*, 21(1), 7–25. Retrieved from <http://10.0.43.136/Javeriana.iyu21-1.dcms>
- Capella, L., Montagna, A., Camussi, N., & Cafaro, D. (2017). APLICACIÓN DE LA METAHEURÍSTICA “SIMULATED ANNEALING” AL BALANCEO DE LÍNEAS DE ENSAMBLE SIMPLES. *APPLICATION OF THE “SIMULATED ANNEALING” METHEURISM TO THE BALANCING OF SIMPLE ASSEMBLY LINES.*, 9(18), 200–216. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=127784605&lang=es&site=ehost-live>
- Castrillón, J. V. (2008). LA SIMULACIÓN DE PROCESOS, CLAVE EN LA TOMA DE DECISIONES. *MANUFACTURING SIMULATION, DECISION-MAKING KEY.*, 83(4), 221–227. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=31912214&lang=es&site=ehost-live>
- DESHPANDE, V., PATIL, N. D., BAVISKAR, V., & GANDHI, J. (2016). Plant Layout Optimization Using CRAFT and ALDEP Methodology. *Productivity*, 57(1), 32–42. Retrieved from <https://hau.idm.oclc.org/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=115792963&site=ehost-live&scope=site>
- Diego Más, J. A. (2007). Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos: Aportación al control de la geometría de las actividades, (January 2006). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10107.72486>
- Dira, A., Pierreval, H., & Hajri-Gabouj, S. (2007). Facility layout problems: A survey. *Annual Reviews in Control*, 31(2), 255–267. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2007.04.001>
- Fred E.Meyers, & P.Stephens, M. (2006). *Diseño e instalaciones de manufacturas y manejo de materiales*. Retrieved from [http://maryperez.galeon.com/analisis\\_prod.pdf](http://maryperez.galeon.com/analisis_prod.pdf)
- Guerrero Hernández, M. A., & Henriques Librantz, A. F. (2014). Simulación de eventos discretos de la cadena logística de exportación de commodities. *Discrete Event Simulation of the Commodities' Supply Chain Exportation.*, 22(2), 257–262. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=95588>

938&lang=es&site=ehost-live

- Hosseini-Nasab, H., Fereidouni, S., Fatemi Ghomi, S., & Fakhrzad, M. (2018). Classification of facility layout problems: a review study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(1–4), 957–977. Retrieved from <http://10.0.3.239/s00170-017-0895-8>
- Kang, S., Kim, M., & Chae, J. (2018). A closed loop based facility layout design using a cuckoo search algorithm. *Expert Systems with Applications*, 93, 322–335. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.10.038>
- Kumar, S., Dhingra, A. K., & Singh, B. (2018). Kaizen Selection for Continuous Improvement through VSM-Fuzzy-TOPSIS in Small-Scale Enterprises: An Indian Case Study. *Advances in Fuzzy Systems*, 1–10. Retrieved from <http://10.0.4.131/2018/2723768>
- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2), 5–20. <https://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002>
- Mahdavi, I., Teymourian, E., Baher, N. T., & Kayvanfar, V. (2013). An integrated model for solving cell formation and cell layout problem simultaneously considering new situations. *Journal of Manufacturing Systems*, 32(4), 655–663. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2013.02.003>
- Mohamad, D., & Ibrahim, S. Z. (2017). Decision Making Procedure Based on Jaccard Similarity Measure with Z-numbers. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 25(2), 561–574. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=iih&AN=124998201&lang=es&site=ehost-live>
- Moreno Vásquez, Pedro. Mora Ruíz, J. (2012). Elementos que Afectan el Nivel de Inventario en Proceso ( WIP ) y los Costos de una Línea de Producción. *Ciencia Tecnológica*, 42(43), 36–41.
- Muther, R. (1977). *Distribución en Planta* (Segunda ed).
- Orejuela Cabrera, J. P., Ocampo Carrillo, J. J., & Micán Rincón, C. A. (2010). Propuesta Metodológica Para la Programación de la Producción en Las Pymes del Sector Artes Gráficas, Área Publi-Comercial. *Estudios Gerenciales*, 26(114), 97–118. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0123-5923\(10\)70104-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0123-5923(10)70104-2)
- Pantoja, C., Orejuela, J. P., & Bravo, J. J. (2017). Metodología de distribución de plantas en ambientes de agrupación celular. *Estudios Gerenciales*, 33(143), 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.03.003>
- Peña Orozco, D. L. (2016). Aplicación de técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento. *Application of Line Balancing Techniques to Balance Workloads in the Storage Area of a Warehouse Storage.*, 21(3), 239–247. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=122337600&lang=es&site=ehost-live>
- Salazar, A. F., Vargas, L. C., Añasco, C. E., & Orejuela, J. P. (2010). Propuesta de distribución en planta bietapa en ambientes de manufactura flexible mediante el proceso analítico jerárquico. *Revista EIA*, 161–175.
- Salazar, B. (2017). Heijunka. Retrieved from

<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/heijunka-nivelacion-de-la-produccion/>

- Serrano, I., Ochoa, C., & Castro, R. De. Evaluation of value stream mapping in manufacturing system redesign., 46*International Journal of Production Research* 4409–4430 (2008). Taylor & Francis Ltd. Retrieved from <http://10.0.4.56/00207540601182302>
- Soto, R., Crawford, B., Zec, C., Alarcón, A., & Almonacid, B. (2016). Resolución del Manufacturing Cell Design Problem utilizando el Algoritmo Bat. *A Bat Algorithm to Solve the Manufacturing Cell Design Problem.*, 1, 377–382. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=iih&AN=127441252&lang=es&site=ehost-live>
- Tarazona Bermudez, G. M., Rodríguez Rojas, L. A., & Ochoa Rodríguez, J. F. (2014). Modelos de Optimización de la Distribución en Planta *Optimization models in Layout. CISTI (Iberian Conference on Information Systems & Technologies / Conferência Ibérica de Sistemas E Tecnologias de Informação) Proceedings*, 1, 689–694. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=iih&AN=97081386&lang=es&site=ehost-live>
- Tearwattanarattikal, P., Namphacharoen, S., & Chamrasporn, C. (2008). Using ProModel as a simulation tools to assist plant layout design and planning: Case study plastic packaging factory. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*, 30(1), 117–123. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=33322334&lang=es&site=ehost-live>
- Wang, G., Yan, Y., Zhang, X., Shangguan, J., & Xiao, Y. (2009). *A simulation optimization approach for facility layout problem. 2008 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, IEEM 2008.* <https://doi.org/10.1109/IEEM.2008.4737966>
- Zupan, H., Herakovic, N., Zerovnik, J., & Berlec, T. (2017). LAYOUT OPTIMIZATION OF A PRODUCTION CELL. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, 16(4), 603–616. Retrieved from [http://10.0.9.203/IJSIMM16\(4\)4.396](http://10.0.9.203/IJSIMM16(4)4.396)