

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE UNA EMPRESA MANUFACTURERA BAJO EL
ENFOQUE DE CÉLULAS DE MANUFACTURA



LUISA FERNANDA CARO CRUZ
DIANA MARCELA MARTÍNEZ GONZÁLEZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA
2019

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE UNA EMPRESA MANUFACTURERA BAJO EL
ENFOQUE DE CÉLULAS DE MANUFACTURA

LUISA FERNANDA CARO CRUZ
DIANA MARCELA MARTÍNEZ GONZÁLEZ

Trabajo de grado para optar por el título de:
Ingeniero (a) Industrial

Director
Ing. Juan Carlos Peña Orozco

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
GUADALAJARA DE BUGA

2019

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado 1

Firma del Jurado 2

Guadalajara de Buga, (26 de marzo de 2019)

DEDICATORIA

Llenas de alegría, amor y esperanza dedicamos el presente trabajo de grado especialmente a Dios, quien nos brindó sus manos como un sustento de apoyo para emprender no solo este trabajo sino también un camino lleno de experiencias hace cinco años, indudablemente su amor y compañía fueron elementos primordiales para culminar con éxito ésta etapa de nuestras vidas.

Es de gran satisfacción poder dedicarle a cada uno de nuestros seres queridos éste trabajo, el cual nos permite culminar satisfactoriamente nuestra formación profesional, actuando como pilares para seguir adelante.

A nuestros padres, quienes nos brindaron incondicionalmente su apoyo emocional, trabajo y sacrificio, creyendo indudablemente en nuestras capacidades. A ellos les damos gracias por dirigir nuestros caminos y convertirnos en mujeres profesionales.

A familiares, compañeros de vida y en especial a todos aquellos que nos abrieron sus puertas y compartieron sus conocimientos para enaltecer los nuestros.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a los docentes de la escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle, por compartirnos sus conocimientos a lo largo de la carrera. Especialmente expresamos nuestra gratitud para la realización de este proyecto a:

Juan Carlos Peña Orozco, Ingeniero Industrial, Director de trabajo de grado, por apoyar y dirigir adecuadamente la elaboración de este proyecto, contribuyendo significativamente en el desarrollo del tema propuesto.

Jorge Enrique Torres, Licenciado en educación básica, propietario y gerente de Productos Condisazón, por la colaboración en el suministro de la información necesaria para el desarrollo de la metodología.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 Objetivo general	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	19
2. REVISIÓN LITERARIA.....	21
2.1 MARCO TEORICO	21
2.1.1 Tecnología de grupo.....	21
2.1.2 Sistema de manufactura celular	21
2.1.2.1 Celda de manufactura	22
2.1.2.2 Ventajas y desventajas de los CMS	22
2.1.2.3 Clasificación de los CMS.....	23
2.1.2.4 Tipos de distribución	24
2.1.2.5 Distribución en planta.....	26
2.1.2.6 Proceso de diseño.....	27
2.1.3 Estado del arte	30
2.1.3.1 Metodología de diseño	32
2.1.3.2 Metodología de agrupamiento.....	34
2.1.3.3 Metodología de distribución	35
3. METODOLOGÍA DE DISEÑO	36
3.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	38
3.1.1 Información de productos	38
3.1.2 Información de producción y del proceso	38
3.2 SELECCIÓN Y AGRUPAMIENTO DE FAMILIAS	39
3.2.1 Matriz pieza – máquina	39
3.2.2 Algoritmo de Ordenamiento Binario.....	40
3.3 ASIGNACIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	42
3.4 DISEÑO DEL ESPACIO FÍSICO	42
3.4.1 Diagnóstico inicial de la distribución de la empresa	43
3.4.2 Método de Guerchet.....	43

3.4.3 Método SLP.....	45
4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	49
4.1.1 Distribución actual	49
4.2 INFORMACIÓN GENERAL	51
4.2.1 Clasificación de productos:.....	51
4.2.2 Maquinaria y actividades manuales	53
4.2.3 Análisis de Flujo Productivo (AFP)	54
4.2.4 Ventas	57
4.2.5 Información de mano de obra.....	59
4.3 SELECCIÓN Y AGRUPACIÓN DE FAMILIAS	60
4.4 DISEÑO DEL ESPACIO FÍSICO	71
4.4.1 Diagnóstico inicial de la distribución actual de Condisazón.....	71
4.4.2 Distribución de planta	71
4.4.3 Distribución del área de producción	77
4.4.4 Distribución del sistema de manufactura celular	79
4.4.5 Diseño del sistema de manufactura celular.....	79
5. CONCLUSIONES.....	87
ANEXOS	89
BIBLIOGRAFÍA.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Enfoque de células de trabajo: plano del proceso de producto	24
Figura 2. Tipos de distribución de células de manufactura: (a) Línea recta, (b) En forma de U, (c) En forma de S y En forma de W.....	25
Figura 3. Aspectos que involucra el diseño físico de una célula de manufactura ..	28
Figura 4. Proceso de diseño de un sistema de manufactura celular.....	29
Figura 5. Metodología general de diseño del modelo físico de células de manufactura.....	37
Figura 6. Parámetros para la recolección de información de productos	38
Figura 7. Parámetros para la recolección de la información de producción y del proceso	39
Figura 8. Grupos de celdas de manufactura ordenados con base al Algoritmo de ordenamiento binario	41
Figura 9. Superficies de Guerchet	44
Figura 10. Coeficientes para la superficie de evolución (K)	45
Figura 11. Fases del Método SLP.....	45
Figura 12. Medición del grado de acercamiento entre actividades	46
Figura 13. Código de líneas para el Diagrama de Hilos.....	47
Figura 14. Mapa de la distribución actual de Condisazón.....	50
Figura 15. Diagrama de flujo actual	56
Figura 16. Resultado AOB para la formación de células de trabajo (Opción 3B) ..	70
Figura 17. Diagrama de hilos propuesto	75
Figura 18. Distribución de espacios.....	76
Figura 19. Distribución de espacios propuesta.	77
Figura 20. Distancia entre máquinas-distribución inicial	82
Figura 21. Distancia recorrida en el proceso de producción	83
Figura 22. Diseño de distribución-propuesta 1	83
Figura 23. Diseño de distribución-propuesta 2	84
Figura 24. Diseño de distribución-propuesta 3	84
Figura 25. Diseño de distribución-propuesta 4	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Fases del proceso de asignación y agrupamiento de equipos y herramientas.....	42
Tabla 2. Fases de planificación del diseño físico de células de manufactura	43
Tabla 3. Descripción de las áreas del plano	51
Tabla 4. Clasificación de productos	52
Tabla 5. Máquinas usadas para la fabricación de condimentos y sazónadores	53
Tabla 6. Actividades manuales para la fabricación de condimentos y sazónadores	54
Tabla 7. Ventas de productos por semana	58
Tabla 8. Mano de obra.....	60
Tabla 9. Matriz de correlación Producto Vs Máquina - Actividad Manual	61
Tabla 10. Solución obtenida con la metodología AOB.....	63
Tabla 11. Movimiento intercelular para la opción 1.....	65
Tabla 12. Movimientos intracelulares para la opción 1	66
Tabla 13. Distancia total intracelular para la opción 1.....	67
Tabla 14. Distancia total intercelular.	67
Tabla 15. Número de movimientos intracelulares.	68
Tabla 16. Distancia total intracelular.	68
Tabla 17. Resumen de resultados.	69
Tabla 18. Área (M2) de los departamentos de planta.	72
Tabla 19. Cercanía entre departamentos	73
Tabla 20. Razón de la cercanía entre departamentos	73
Tabla 21. Grado de la intensidad de cercanía entre departamentos	74
Tabla 22. Departamentos con mayor grado de relación	75
Tabla 23. Cantidad de bloques ocupados por cada área dentro del plano de Condisazón.....	76
Tabla 24. Superficie requerida para ubicar las máquinas.	78
Tabla 25. Centroide de máquinas/actividades de la distribución inicial	81
Tabla 26. Distancia total en el dpto. De producción.....	85

GLOSARIO

ALGORITMO DE ORDENAMIENTO BINARIO: metodología diseñada para generar agrupamiento de piezas y máquinas en celdas de manufactura, bajo la información dada por la matriz pieza – máquina.

CANAL DE DISTRIBUCIÓN TAT: Es una técnica de venta que permite llegar a la mayoría de la población, con mejor accesibilidad y alcance al consumidor.

CÉLULA DE MANUFACTURA: mini fábrica o estación de trabajo que tiene responsabilidad sobre el proceso y el producto, permitiendo regular los costos de operación y los plazos de entrega, administrar su estructura y determina las necesidades en cuanto a recursos técnicos y de personal.

CENTROIDE: Punto promedio representativo de posición en un área.

CONDIMENTOS Y ESPECIAS: Productos provenientes de las semillas, raíces, cortezas, bayas y capullos de las plantas, generalmente estos condimentos se encuentran en la presentación de enteros y molidos y son usados para sazonar, mejorar y realzar el sabor de los alimentos.

DIAGRAMA DE FLUJO: diagrama que describe un proceso, mediante un conjunto de acciones encaminadas a la transformación de materias primas o insumos para generar un bien o un servicio.

DIAGRAMA DE HILOS: plano o modelo a escala con el que se sigue y se mide con un hilo la trayectoria de los trabajadores, materiales o equipos durante el desarrollo de las actividades.

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA: Ordenación física de los factores y elementos industriales que participan en el proceso productivo de la empresa, en la distribución área, en la determinación de las figuras, formas relativas y ubicación de los distintos departamentos.

FAMILIA: agrupación de objetos, partes o productos semejantes con características específicas o determinados atributos de diseño, los cuales requieren de métodos similares de tratamiento.

MATERIA PRIMA (MP): Todo elemento usado para la transformación de materiales durante un proceso de producción hasta convertirse en un producto terminado para consumo y utilización del comprador.

MATRIZ FAMILIA DE PRODUCTOS: Tabla permutada de filas (máquinas) y columnas (productos) en la tabla de una matriz binaria de ceros y unos, la cual me dice que productos hacen uso de X máquina.

MATRIZ ORIGEN-DESTINO: Es una tabla que permite para medir las distancias recorridas por el material en proceso dentro de una distribución, desde su origen a destino, donde la secuencia vertical es el lado de los “orígenes” de la matriz, la

secuencia horizontal son los “destinos” y todo se mueve de un lugar de origen a otro de destino.

MATRIZ PIEZA – MÁQUINA: herramienta que permite de manera ordenada determinar con unos o ceros los productos que hacen uso de determinadas máquinas durante su proceso de fabricación.

MÉTODO SLP: metodología utilizada para la resolución de problemas de distribución en planta a partir de criterios cualitativos y una serie de procedimientos y símbolos convencionales para identificar, evaluar y visualizar los elementos y áreas involucradas en la planeación.

MÉTODO DE GUERCHET: metodología utilizada para hallar el área ocupada por muebles, máquinas o equipos, basándose en la suma de tres superficies: estática (área ocupada por el bien), gravitacional (área utilizada por el obrero y el material necesario para ejecutar las operaciones) y de evolución (correspondiente al área usada para el flujo de personal y de material).

TECNOLOGÍA DE GRUPO: filosofía de trabajo dada por el proceso de reunir objetos o partes con atributos similares para la formación de familias que serán procesadas posteriormente.

SISTEMA DE MANUFACTURA CELULAR: proceso de distribución en planta encargado de agrupar partes o productos en familias de acuerdo a características similares y de agrupar máquinas en celdas para disminuir los tiempos de preparación, los costos y las actividades de procesamiento.

RESUMEN

La presente investigación comprende el desarrollo de una distribución en planta bajo el enfoque de células de manufactura que permite la adecuación del departamento de producción en base al flujo del proceso, teniendo en cuenta el espacio disponible del área y los recursos utilizados en la empresa Condisazón, la cual fabrica y comercializa condimentos y sazónadores en polvo, enteros, picados y líquidos, para lograr un mejor desempeño y mayor agilidad en los procesos a través del flujo continuo de materiales con base a su proceso productivo, de tal manera que permita minimizar las distancias recorridas.

Esta investigación comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas que inicia con la recopilación de la información de las condiciones actuales de la empresa manufacturera, seguido del desarrollo de un procedimiento lógico planteado con el Algoritmo de Ordenamiento Binario para la formación de las células de familias de productos y máquinas de acuerdo a su clasificación de partes y su proceso productivo, luego a través del desarrollo del método SLP (Systematic Layout Schedule), se propone una adecuada distribución de todos los departamentos dentro de la planta y con base a ésta se hallan las áreas que se requieren para cada tipo de máquina o actividad manual en el área de producción con el método de Guerchet, por último, con el diseño del flujo de producción escogido y con el método de la matriz origen-destino, se mide la distancia recorrida en las diferentes combinaciones de orden de las células dentro del área de producción con el fin de encontrar la que mejor se ajuste y minimice las distancias recorridas en comparación con la distribución inicial.

INTRODUCCIÓN

Las empresas manufactureras constantemente buscan mejorar sus sistemas productivos y aumentar su productividad, comprometiéndose con altos estándares de calidad tanto en sus productos como en sus procesos de forma continua y sostenida para evitar su colapso, sin dejar a un lado el uso eficiente de los recursos.

Sin embargo, el punto que determina el éxito o el fracaso de las empresas frente a los nuevos retos impuestos por el mercado es el diseño, la formación y la estructura adecuada de sus procesos productivos y más aún para aquellas empresas que ofrecen una gran variedad de productos, por tal motivo, éstas deben contar con una distribución funcional en sus procesos para responder eficazmente al mercado. De este modo, satisfacer la demanda de una gran variedad de productos es un reto, porque implica enfrentarse a aspectos como: largos tiempos de preparación por pedido, altos volúmenes de inventarios en proceso y largos tiempos de ciclo por desórdenes en el sistema, estos aspectos disminuyen la productividad, la calidad, no permiten ofrecer un precio competitivo al mercado, ocasionan retrasos en las entregas y además pérdidas de clientes.

En vista de solucionar las diversas implicaciones que suscitan de lo anterior, han surgido diferentes técnicas relacionadas con la manufactura esbelta, entre ellas la manufactura celular, la cual ha sido empleada por diferentes industrias en sus sistemas de fabricación, debido a su enfoque en estrategias de producción capaces de mejorar la eficiencia de un proceso productivo, permitiéndole a la empresa permanecer en un mercado cada vez más competitivo. La manufactura celular, es una subclase del concepto de Tecnología de grupo y permite que el sistema productivo cuente con ventajas de la producción en línea sin dejar a un lado la flexibilidad, desarrollando nuevas ideas de localización de máquinas y de administración de la producción, ésta técnica permite agrupar máquinas y procesos en celdas de acuerdo a la similitud de los productos, incorpora la calidad dentro de ellos, permite la supervisión total del proceso, disminuye los costos, inventario en proceso y el tiempo de entrega, contribuye con el aprendizaje organizacional mejorando la flexibilidad y la coordinación.

A pesar que el diseño de un sistema de manufactura celular permite mejorar diferentes aspectos de un sistema productivo, el problema radica en encontrar la clasificación y codificación adecuada, que logre asignar adecuadamente códigos a las distintas partes producidas y que a partir de dichos códigos, agrupe las partes en familias según sea su similitud, es decir, el problema reside en encontrar la forma y el diseño adecuado de las células según los tipos de productos que se fabrican, teniendo en cuenta sus características.

En este trabajo se pretende mejorar la productividad de una empresa manufacturera, mediante el uso de células de trabajo que tomen en cuenta el

espacio disponible en el área de producción, el proceso productivo, los recursos utilizados durante el proceso, la forma de la célula y los productos ofrecidos por la empresa, permitiendo lograr un flujo continuo de materiales durante su transformación y minimizar la distancia recorrida entre las células de trabajo dentro del área de producción.

Finalmente, el documento está estructurado en cinco secciones, la primera muestra el planteamiento del problema en cuanto al diseño de células de manufactura considerando la clasificación y codificación de las partes según el orden de procesamiento, acompañado de los objetivos y las preguntas de investigación, el apartado número dos contiene la revisión literaria de las células de manufactura y el estado del arte dividido de acuerdo a los métodos de diseño, agrupamiento y distribución propuestos para dar solución al problema de formación de células de manufactura, el capítulo tres plantea la metodología de diseño a seguir, considerando el levantamiento de la información inicial, la selección y la agrupación de familias de productos, la asignación de equipos y herramientas y el diseño del espacio físico, el apartado número 4 pauta los resultados del desarrollo de la investigación y la última sección presenta las conclusiones.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, las empresas buscan adaptarse a las condiciones impredecibles del mercado, mediante mecanismos que les permitan dar una respuesta rápida y efectiva a dichas exigencias, muchas de ellas desarrollan herramientas estratégicas relacionadas con la eficiencia en los procesos, como lo es la Manufactura Esbelta o en sus siglas en ingles Lean Manufacturing. La adaptación de esta herramienta se hace para mejorar la capacidad de respuesta al cliente y brindarle a la empresa una posibilidad de convertirse en una organización de talla mundial.

El objetivo de la manufactura esbelta es lograr procesos eficientes, mediante la reducción de desperdicios de tiempo y de inventarios, permitiendo que haya un flujo continuo, un menor costo de operación, una disminución de los tiempos de entrega y mayor satisfacción del cliente. Pero para que el proceso sea eficiente, también se deben considerar otros aspectos como **el diseño del flujo productivo y la distribución de las instalaciones de la empresa**, especialmente en el área de producción. Dichos aspectos se deben de considerar porque muchas empresas manufactureras presentan en sus sistemas productivos altos volúmenes de inventario en proceso, largos tiempos de preparación de máquinas y tiempos de ciclo relativamente largos provocados por el flujo desordenado en los sistemas productivos, presentando contraflujos, altos desperdicios y una productividad deficiente, baja calidad de los productos, adicionalmente se provocan demoras en las entregas finales, aumentan las quejas de los clientes por los reiterados incumplimientos en las fechas de entrega, existen grandes distancias entre máquinas lo cual genera tiempos muertos por recorridos innecesarios, haciendo que se aumenten los tiempos estipulados para la entrega efectiva del producto. Por otro lado, la confusión de materiales que se presenta durante el proceso de producción, se debe a la poca organización que hay en el lugar de trabajo y a la inexistencia de una adecuada delimitación de las tareas o funciones de los operarios, que les permitan llevar a cabalidad sus tareas, generando desórdenes en dicha área e incidiendo de manera negativa en la calidad del producto.

De acuerdo a lo anterior, las deficiencias en los procesos productivos y la disminución de la productividad en las empresas manufactureras se dan en muchas ocasiones por el **mal diseño del flujo del proceso y la inadecuada distribución de las instalaciones**. Por ende, este trabajo se basa en estudiar el **sistema de manufactura celular (CMS)**, siendo ésta una de las técnicas de la manufactura esbelta.

El CMS es una aplicación de la tecnología de grupo (GT) y se basa en agrupar máquinas, procesos y herramientas en partes similares, de acuerdo a las características o requerimientos de los productos y son altamente usadas en

empresas que sean flexibles o que tengan un amplio portafolio de productos. Un CMS “es un sistema en el que la recopilación de partes con una geometría, diseño o proceso similar pueden ser procesados conjuntamente en células”.¹

Por otro lado, éste sistema permite aumentar la productividad y tiene en cuenta las deficiencias de los procesos productivos de una empresa manufacturera, como bien afirman Aalaei & Davoudpour, que los beneficios de un CMS, “consisten en reducir los tiempos de preparación, el tiempo de ciclo, reducir el trabajo en proceso, el material de desecho al igual que los tiempos de entrega y los costes de producción, aumentar la flexibilidad, mejorar la calidad del producto y el control de la producción”.²

Y aunque suene sencillo mejorar la productividad en una empresa mediante el diseño del flujo productivo, el problema radica en encontrar el **diseño adecuado** del proceso, teniendo en cuenta las características de la empresa, los bienes que ofrece al mercado, el espacio disponible y las dificultades anteriormente dichas y más aún para aquellas empresas que ofrecen una alta variedad de productos, dificultando la continuidad y la flexibilidad del proceso.

Condisazón cuenta con una distribución actual dispersa basada en el proceso y fabrican pequeños lotes con base a los requerimientos de los clientes. Manejando un sistema Pull para iniciar su producción. El producto a fabricar pasa por diferentes áreas en función de las operaciones que se requiere para que sea elaborado; la planta cuenta con cuatro áreas de almacenamiento para materia prima de productos molidos y enteros, producto terminado e insumos para etiquetas y varias áreas de producción alejadas una de otras con muy poca continuidad, adicionalmente las máquinas no se encuentran ubicadas en un lugar específico sino que son guardadas mientras se requiere su uso, situación generada por el mal uso de los espacios.

En virtud de lo anterior se formulan las siguientes preguntas:

- ¿Cómo mejorar la productividad de una empresa manufacturera a partir del diseño adecuado de células de manufactura?
- ¿Cuáles son las condiciones actuales del proceso productivo de la empresa manufacturera?
- ¿Cómo se deben agrupar las células de trabajo, de acuerdo a las características de los elementos del proceso productivo?

¹ IMRAN, Muhammad; KANG, Changwook; HAE LEE, Young; JAHANZAIB, Mirza y AZIZ, Haris. Cell formation in a cellular manufacturing system using simulation integrated hybrid genetic algorithm. En: Science Direct. Marzo, 2017, vol. 105, p. 123.

² AALAEI, Amin y DAVOUDPOUR, Hamid. A robust optimization model for cellular manufacturing system into supply chain management. En: Science Direct. Enero, 2017, vol. 183, parte C, p. 667.

- ¿Cómo se debe distribuir el área de fabricación para mejorar el proceso productivo?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de manufactura celular, mediante la adecuada agrupación de procesos, productos y máquinas, con el fin de mejorar la eficiencia del proceso y la productividad de una empresa manufacturera.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico actual de las condiciones de trabajo que permita conocer el proceso productivo.
- Seleccionar y agrupar productos y máquinas de acuerdo a características similares, con el fin de formar células de trabajo.
- Distribuir el área de fabricación de acuerdo al diseño correspondiente del sistema de manufactura celular, para mejorar el proceso productivo.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente las industrias manufactureras enfrentan retos en términos de competitividad y productividad, sin embargo, muchas de estas industrias no han podido adaptarse a las diferentes exigencias del mercado y, por ende, no generan una respuesta rápida a sus clientes. Una de las causas a esta situación es que no hay sinergia en el proceso productivo, es decir, no hay un diseño adecuado en el área de producción que permita facilitar el flujo de éste, lo que a su vez genera altos inventarios de productos en proceso, grandes tiempos de ciclo, desperdicio de materias primas e insumos, retrasos en el trabajo, aumento de costos, alta utilización de equipos, etc., generando así una inadecuada distribución de los procesos y las máquinas, impidiendo el funcionamiento eficaz del sistema manufacturero. Con el fin de disminuir el impacto que genera cada uno de estos aspectos dentro de un sistema de producción, este proyecto busca diseñar un sistema de manufactura celular que agrupe los procesos, máquinas y herramientas en estaciones y/o células de trabajo, de tal manera que se mejore la eficiencia en el proceso productivo, la calidad y la productividad de la empresa.

De esta forma el diseño define la distribución espacial de los elementos, máquinas y herramientas al interior del área integrando e interactuando todos los componentes con los flujos y movimientos de los materiales y la mano de obra.

Esto a su vez permite la reducción de pasos innecesarios dentro del proceso, facilita la identificación de problemas, fomenta la comunicación entre los empleados dentro de la célula y permite reducir las cantidades de inventario de producto en proceso, materia prima y tiempo de procesamiento.

Teniendo en cuenta la problemática del caso de estudio, se propone realizar con base a la clasificación de los productos una distribución por células de trabajo, seguida de la distribución en planta mediante el uso del método SLP, con el fin de mejorar el flujo del proceso productivo y la relación entre áreas y a partir de ésta distribuir el área de producción con base al área de las máquinas, actividades manuales, la cantidad de células de trabajo y la ubicación de estas.

2. REVISIÓN LITERARIA

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 Tecnología de grupo

La tecnología de grupo (GT) es una filosofía que nace como alternativa de distribución o ubicación de los elementos esenciales para la producción de partes o productos, con el fin de obtener una administración eficiente del proceso productivo, ahorrado tiempo, esfuerzo y costo. La GT tuvo alguno de sus inicios en el trabajo presentado por: S.P Mitrofanov, en la Universidad de Leningrado (Ex URSS), donde su objetivo fundamental es aumentar los niveles de maquinado, demostrando así ahorros en los tiempos de preparación de las máquinas, aumento de la capacidad en estas y disminución en los costos por el procesamiento de partes similares en determinadas máquinas aprovechando la preparación anticipada de estas.³

La Tecnología de Grupo consiste en crear familias de partes de acuerdo a características similares en los productos y a sus requisitos de procesamiento, estipulando ciertas máquinas para cada grupo, dichas características son explotadas desde tres puntos de vista: realizando actividades similares, estandarizando tareas y retroalimentando problemas expuestos durante el proceso, con el fin de mejorar la eficiencia de éste. El objetivo fundamental de la GT es lograr obtener ahorros y ventajas de la producción en línea en la fabricación de una gran variedad de piezas, obteniéndolos a partir de innovación en los métodos de producción, alcanzando ventajas en aspectos como la distribución en planta, el control de producción, el contenido de trabajo y el ahorro en costos de procesamiento. Por otro lado, permite obtener buenos resultados económicos en la fabricación de piezas en pequeña y mediana escala, disminuyendo los tiempos de preparación, mejorando los requerimientos de producción y racionalizando los recursos.

Esta filosofía no solo es aplicada a procesos manufactureros sino también a procesos administrativos, de diseño, de marketing, entre otros, teniendo gran reconocimiento por su variedad y capacidad de adaptación en diversos entornos.

2.1.2 Sistema de manufactura celular

Un sistema de manufactura celular (CMS) es una de las aplicaciones de la tecnología de grupo y es utilizado para la distribución en planta de sistemas manufactureros o administrativos, ésta surge como una alternativa de distribución

³ AALAEI, Amin y DAVOUDPOUR, Hamid. A robust optimization model for cellular manufacturing system into supply chain management. En: Science Direct. 2017. N°. 183, p. 667.

diferente a las tradicionales, reuniendo las ventajas de la distribución en línea y por procesos, volviéndose en una distribución por tipo de productos. Dicha filosofía busca dividir un sistema de producción en pequeños grupos o células a manera de mini fábricas enfocándose en la agrupación de un conjunto de partes o productos similares respecto a determinadas características de fabricación: tamaño, peso, forma geométrica, materias primas, proceso, volúmenes de fabricación, entre otros.

La importancia de un sistema de manufactura celular radica en que permite disminuir los tiempos muertos, simplifica el número de procesos interrelacionados y los cambios de máquinas, contribuyendo a la reducción de costos y de tiempos de preparación, aumentando así la capacidad de producción. Adicionalmente se reducen los tiempos de espera y los niveles de inventario por la variedad de las partes al uniformizar el manejo de materiales, logrando despachos más rápidos y una fácil evidencia de las rutas de fabricación de cada una de las piezas, permitiéndole a los operarios un mayor conocimiento del proceso y de las tareas que se realizan en él, aumentándoles su flexibilidad en el puesto de trabajo.

2.1.2.1 Celda de manufactura

Una celda de manufactura (CM) es una unidad de trabajo formada por máquinas organizadas de acuerdo a una secuencia de pasos ejecutados dentro del proceso de desarrollo de un producto mediante un flujo continuo. Las CM se caracterizan por formar pequeñas unidades de trabajo autónomas o auto suficientes, con estaciones de trabajo muy cercanas para producir un componente en su totalidad o el sub - ensamble de partes, permitiendo disminuir los movimientos, mejorar la retroalimentación entre los operarios en términos de fallas en el circuito y la calidad del proceso como de los productos, aumentar la velocidad operativa y la utilización óptima de los recursos.

Su combinación entre operaciones manuales y mecánicas permite dar valor añadido al proceso y reducir el desperdicio. Adicionalmente, las celdas de manufactura requieren de operarios hábiles y polivalentes como entes responsables de la calidad del producto y del cumplimiento en los indicadores para alcanzar las metas.

2.1.2.2 Ventajas y desventajas de los CMS

Al implementar un CMS se conciben ventajas como:

- Procesos de fabricación flexible,
- Operarios altamente capacitados y polivalentes,
- Adaptación de una gran variedad de productos,

- Aumento o disminución de la mano de obra de acuerdo a la demanda,
- Disminución de los tiempos muertos y del tiempo de ciclo,
- Contribuye al balanceo de línea,
- Fomenta el trabajo en equipo.

Sin embargo, un sistema de manufactura celular cuenta con algunas desventajas como todos los demás tipos de procesos de fabricación, tales como:

- Dificultad para establecer tipos de celdas de fabricación en cualquier tipo de empresa,
- Necesidad de operarios con espíritu polivalente y adaptables al cambio,
- Mayor inversión en maquinaria y equipo.

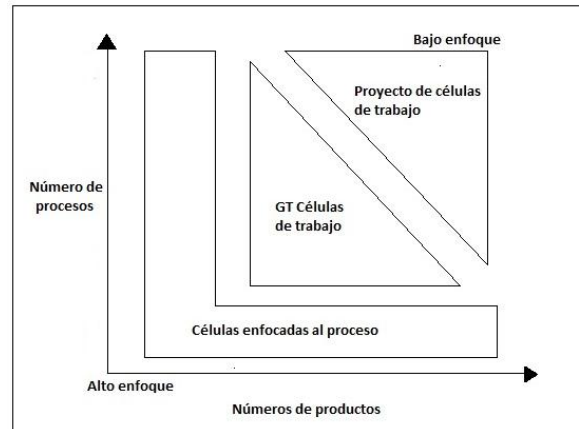
2.1.2.3 Clasificación de los CMS

Existen cuatro sistemas principales de producción, de los cuales dos cuentan con características especiales para la distribución de procesos, agilizando su planteamiento y ejecución. El primero es el sistema de producción en línea, el cual se caracteriza por llevar una secuencia lineal de operaciones de principio a fin para grandes lotes pero con poca variedad de productos y el segundo es el sistema de producción por proceso que fabrica una gran variedad de productos pero en volúmenes relativamente bajos.

A pesar de la gran utilidad de estos dos sistemas de producción, se generó la necesidad de contar con un sistema que tuviera las ventajas de la producción en línea sin dejar a un lado la variedad de los productos, lo cual condujo a generar nuevas ideas de distribución que tuvieran en cuenta los dos sistemas, como lo son las células de manufactura, las cuales pueden ser clasificadas por la variedad de productos y de procesos, basándose en el ciclo operativo.

La siguiente figura muestra como la clasificación de varios tipos de células encajan dentro de la orientación producto – proceso:

Figura 1. Enfoque de células de trabajo: plano del proceso de producto



Fuente: Células de trabajo, capítulo 2, p. 12.

Tal como se observa en la figura 1, el enfoque de las células de trabajo está dado por dos tipos de sistemas de producción⁴:

- ✓ Por producto:
 - Dedicada: son células enfocadas a la producción de un solo tipo de producto y las variaciones dentro de su proceso son mínimas.
 - Grupo de tecnología (GT): este tipo de células producen un grupo de productos con características y procesos similares más no iguales.
- ✓ Por proceso:
 - Funcional: este tipo de clasificación hace énfasis a la producción de varios tipos de productos bajo un solo tipo de proceso.
 - Proyecto: a diferencia de la anterior clasificación, ésta produce gran variedad de productos pero con múltiples procesos.

2.1.2.4 Tipos de distribución

En el diseño de un sistema de manufactura celular es indispensable organizar de la manera más adecuada los elementos físicos a utilizar, sin embargo estos deben ser ubicados de acuerdo al flujo de materiales, lo cual clasifica la distribución o

⁴ TORRES, José, A. Células de trabajo [Tesis online]. Universidad de Sonora, División de Ingeniería. Biblioteca digital, 1999 [Consultado: 20 de agosto de 2018]. Capítulo 2: Células de trabajo, p. 12, no ID: 9237. Disponible en: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=9237>.

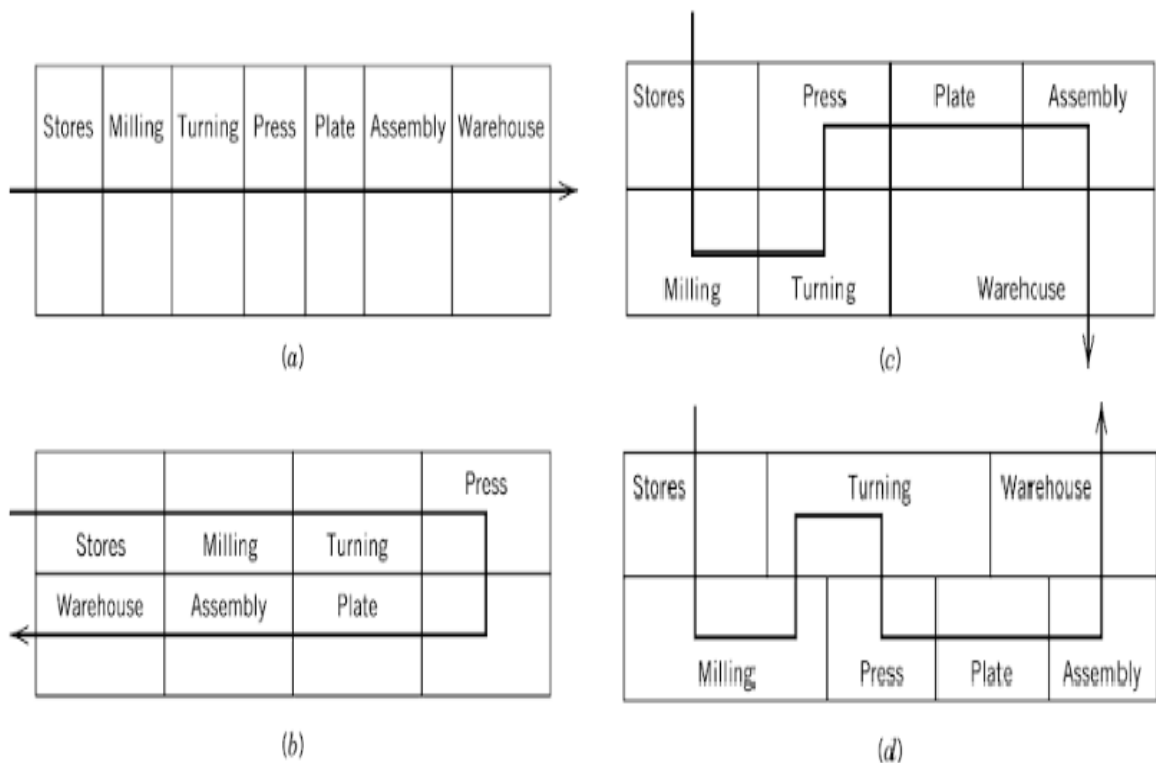
forma de la célula conforme a dicho flujo, las distribuciones más usuales son⁵ (Ver Figura 2):

- **Línea recta:** considerada como una de las líneas más simples, implementada en líneas cortas o automatizadas. Una de sus principales ventajas es el fácil acceso para el material de trabajo y el de los operarios, sin embargo presenta desventajas en el equilibrio de las tareas y los operarios en la línea, debido a que estas no están distribuidas de manera uniforme.
- **En forma de U:** es la distribución más usada, porque minimiza la distancia recorrida entre las diferentes tareas del operario, permitiendo modificar y disminuir el número de trabajadores requeridos en la línea, sin embargo es necesario contar con operarios polivalentes con alta capacidad para afrontar el cambio y las diferentes tareas requeridas. La línea en U se utiliza principalmente para líneas de fabricación manual, proporciona más flexibilidad para equilibrar las cargas de trabajo, permite reducir el movimiento de los empleados y el espacio, al mismo tiempo mejora la comunicación y facilita la inspección.
- **En forma de S o serpentina:** utilizada a menudo para líneas particularmente largas debido a las características de su forma, permitiendo hacer uso efectivo del espacio de una planta de fabricación. Adicionalmente permite equilibrar las cargas de trabajo y al mismo tiempo reducir movimientos innecesarios en los empleados.
- **En forma de W:** su forma de distribución es similar a la distribución en forma de U, cumple las mismas funciones y se obtienen los mismos beneficios, es usada en procesos más largos que requieren mayor espacio.

Cual sea la distribución celular escogida para el área productiva, se debe enfocar la organización en función de que se minimicen los recorridos innecesarios por los operarios y el tiempo de ciclo, mediante una adecuada utilización del espacio y un fácil acceso a las diferentes estaciones de trabajo.

Figura 2. Tipos de distribución de células de manufactura: (a) Línea recta, (b) En forma de U, (c) En forma de S y En forma de W

⁵ TOMPKINS, James, A; WHITE, Jhon, A; BOZER, Yavuz, A y TANCHOCO, J.M.A. Facilities planning. 4 e.d. Estados Unidos: JOHN WILEY & SONS, 2010. 115 p. ISBN: 978-0-470-44404-7



Fuente: Facilities planning, pág. 115.

2.1.2.5 Distribución en planta

La manera de establecer la metodología que se aplica para afrontar el problema de la distribución en planta comienza en la década de los 50 donde diferentes autores empezaron a desarrollar varias metodologías para la resolución del problema de distribución en planta, donde Immer en 1950 planteó el Método de los Pasos o Etapas Básicas de Immer, el cual atiende el principio de la circulación o flujo de materiales dentro del proceso, teniendo en cuenta que este es solamente aplicable a los problemas de reordenación o ajuste menor de una distribución ya existente.

Luego en 1955, Buffa plantea el Sequence Analysis de Buffa, el cual se consideró como un precursor del método SLP, ya que tiene muchas similitudes y se divide en 6 etapas con base en el flujo de materiales que es el único criterio contemplado para establecer la disposición de las actividades.

El método SLP (Systematic Layout Planning) fue desarrollado por Richard Muther en 1961, como un procedimiento sistemático multicriterio relativamente simple, para la solución de problemas de distribución de planta y está constituido por

varias fases en una serie de procedimientos y símbolos convencionales para identificar, evaluar y visualizar los elementos y áreas involucradas.⁶

Posteriormente a la propuesta del SLP, en 1961 Reed propone que el diseño de las instalaciones se realice siguiendo un planteamiento sistemático en 10 pasos. Ya en el año 1965 Nadler planteo una metodología llamada Ideal Systems Approach, la cual se concentra en el diseño de sistemas de trabajo y en el diseño de la distribución en planta de las instalaciones, realizando una aproximación jerárquica al diseño a partir del sistema ideal teórico que resuelve el problema planteado, con el fin de ir descendiendo en el grado de idealidad e idoneidad hasta alcanzar una solución factible.

2.1.2.6 Proceso de diseño

Se han desarrollado muchos procedimientos de diseño de células de manufactura basados en el concepto de la tecnología de grupo, con el propósito de descomponer grandes sistemas de producción en unos más pequeños y manejables, sin embargo, para lograr tal propósito el proceso de diseño de CMS requiere de dos aspectos importantes: el primero, se basa en agrupar máquinas en celdas y productos en familias de partes.

En este mismo orden de ideas, el agrupamiento de máquinas para cada elemento debe encajar con los demás dentro o fuera de la célula, ya sea siguiendo una secuencia dentro de ella o formando un grupo de máquinas similares para el sub – ensamble de partes.

El agrupamiento de partes en familias se puede realizar de tres maneras⁷:

1. **Inspección visual:** consiste en agrupar las partes de acuerdo a su apariencia física, mediante el método de observación.
2. **Análisis del flujo de manufactura:** se basa en agrupar las partes conforme al diagrama de flujo que lleva cada producto, teniendo en cuenta que cada uno de estos tenga una secuencia similar.
3. **Clasificación y codificación:** se realiza a través de un sistema de codificación multi – digital a partir de las características individuales y proceso de fabricación de cada producto, requiere del diseño computarizado de un buen sistema de retroalimentación.

⁶ FUENTE, David y FERNANDEZ, Isabel. Distribución en planta. Universidad de Oviedo, 2015, pág. 31 – 38.

⁷ MIRANDA, Noé. Tecnología de grupo y manufactura celular [Tesis online]. Universidad de Sonora, División de Ingeniería. Biblioteca digital, 1997 [Consultado: 24 de agosto de 2018]. Capítulo 3: Tecnología de grupo, p. 5-7, no ID: 8723. Disponible en: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=8723>.

En ésta fase es de vital importancia que las partes que conforman las familias tengan similitudes en su funcionamiento, forma y tamaño, esto conlleva a una reducción de tiempo y costo del desarrollo del producto al momento de su fabricación. Para empresas de manufactura, el aumento de la productividad y el ahorro en los costos se logra explotando similitudes en las operaciones, procesos de preparación, herramientas utilizadas y manejo de máquinas, ubicando todas las partes con atributos similares en una misma celda para disminuir los tiempos de preparación de las máquinas, el uso de herramientas y de materiales.

En referencia a lo anteriormente dicho, los atributos de diseño típicos para realizar la agrupación de partes en familias, son: forma, ambiente dimensional (relación, largo, diámetro, etc.), integridad superficial, tipo y estado de la materia prima, procesos operacionales y su secuencia, máquinas y lotes de producción.

El segundo aspecto importante, se refiere a la posición de las máquinas al interior de la celda (inter) y fuera de ella interactuando entre sí (intra), ya sea que se termine el proceso productivo en una sola célula o se comparta el flujo con más estaciones de trabajo.

No obstante, el diseño físico de una célula de manufactura involucra aspectos tanto de estructura como de operación⁸, tal como se ilustra a continuación:

Figura 3. Aspectos que involucra el diseño físico de una célula de manufactura

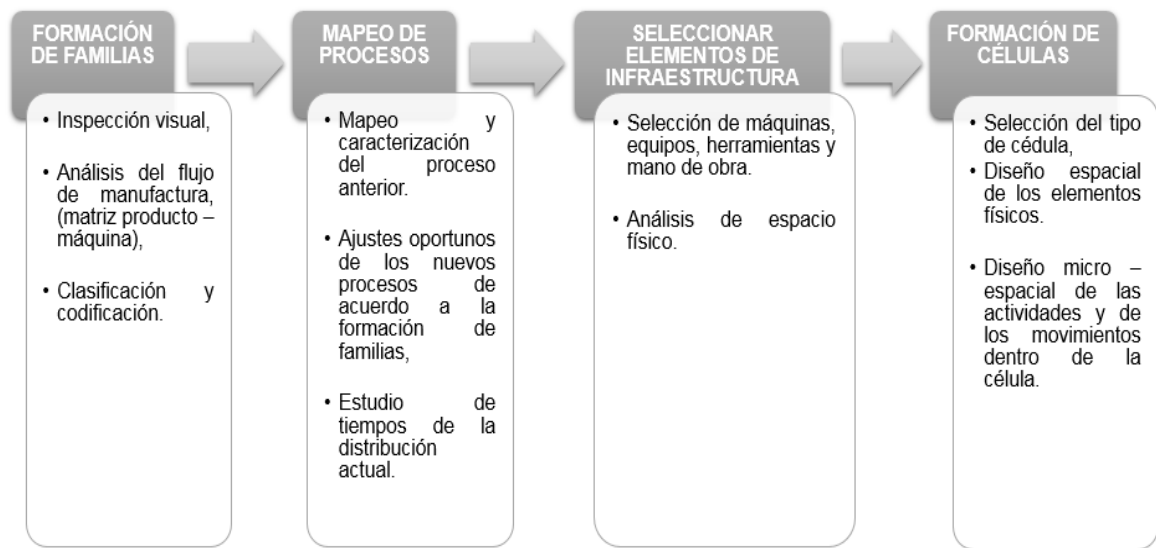
⁸ MIRANDA, Noé. Tecnología de grupo y manufactura celular [Tesis online]. Universidad de Sonora, División de Ingeniería. Biblioteca digital, 1997 [Consultado: 24 de agosto de 2018]. Capítulo 4: Manufactura celular, p. 17-18, no ID: 8723. Disponible en: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=8723>.



Fuente: Tecnología de grupo y manufactura celular, pág. 17-18.

Dadas las condiciones que anteceden para el diseño de un sistema de manufactura celular, suscitan las siguientes fases para la formación de células (Figura 4), partiendo desde la formación de familias hasta la formación de células.

Figura 4. Proceso de diseño de un sistema de manufactura celular



Fuente: Elaboración propia.

2.1.3 Estado del arte

El primer aporte a la tecnología de grupo fue realizado por R. Flanders en Estados Unidos, mediante un documento que describe la forma de cómo organizarla. En 1937, Sokolovskiy describió las características esenciales de la tecnología de grupo y propuso que las partes de configuración similar se produjeran mediante una secuencia de proceso estándar, lo cual permitió que se usaran técnicas de línea de flujo para un trabajo que normalmente se realizaba mediante producción en tandas.⁹

Esta idea básica fue desarrollada en los últimos años, debido al interés en el estudio de problemas de programación con procesamiento, el cual ha ido aumentando debido al deterioro de los puestos de trabajo. Mitrofanov¹⁰ en 1966 estableció un sistema de clasificación que contiene información sobre qué procesos de producción utilizar según el producto, enfocándose en el estudio del deterioro de los puestos de trabajo, identificando mediante el uso de la tecnología de grupo que es más efectivo programar continuamente los puestos de trabajo del

⁹ GUERRERO, John; LÓPEZ, Diana y DÍAZ, Ermilso. Modelo físico de una célula de manufactura, aplicado a un caso de estudio. En: Investigación, Tecnología y Ciencia. Enero - Diciembre, 2016. p. 78.

¹⁰ MITROFANOV, S.P. "The Scientific Principles of Group Technology", Citado por CORDOVES, Alexis; SANZANO, Jaime; LASTRE, Arlys y AVILA, Ricardo. Procedimiento para la fabricación de elementos de máquinas mediante tecnología de grupo en la pequeña y mediana empresa. En: Revista chilena de ingeniería. 2017, vol. 25, no. 2, p. 256.

mismo grupo, donde se pueda agrupar los productos similares en familias, de forma que ayude a aumentar la eficiencia de las operaciones y disminuir el requisito de instalaciones.

Tao Xu et al (2014)¹¹, encontró que una de las formas de minimizar el deterioro de los puestos de trabajo es mediante la agrupación de estos, antes de realizar cualquier tipo de optimización.

Continuando con la idea y con el objetivo de optimizar el sistema de fabricación de las industrias en aspectos importantes, Kumar et al (2013) B¹², identifica que el conjunto de familias de productos con similitudes ayuda a las empresas a minimizar la actividad no deseada en la planta y los tiempos de preparación, lo que les permite igualmente reducir aún más los tiempos de producción y reducir el costo total.

En cuanto a los beneficios de las economías de escala, las industrias con un coste unitario mínimo, tienen una producción orientada al proceso y el contraste con esta clasificación es presentado por Burbidge¹³, el cual plantea que el Análisis de Producción de Flujo (PFA), es una técnica para planificar el cambio a las Tecnología de Grupo en las fábricas de producción de lotes y trabajos existentes, permitiendo aprovechar las economías de escala, por el aumento de la capacidad de producción con los mismos recursos existentes y la generación de un nuevo método de organización en plata.

Aunque la tecnología de grupo fue desarrollada para transferir beneficios de economías de escala a la producción Job Shop, Deuse et al (2013)¹⁴, analiza la forma en que la tecnología de grupo se ha desarrollado como una herramienta esencial en la ingeniería industrial en las últimas décadas y cómo se aplica en el contexto de Lean Manufacturing.

Recientemente se ha comenzado a recibir mayor atención al diseño de instalaciones, convirtiéndose en una nueva entrada de investigación para el sistema de fabricación celular, Zafar y Azab¹⁵, encuentra que el diseño juega un

¹¹ TAO XU, Yang; ZHANG, Yu; HUANG, Xue. Single-machine ready times scheduling with group technology and proportional linear deterioration. En: Science Direct. Enero, 2014, vol. 38, no. 1. p. 384.

¹² KUMAR, San J.; SINGH, Mahima y KUMAR, Bimal. Optimization of Manufacturing System through Group Technology: A Case Study of Fastener Industry. En: International Journal of Industrial Engineering and Technology. 2013, vol. 5, no. 2. p. 27-28.

¹³ BURBIDGE, John. Production flow analysis for planning group technology. En: Science Direct. Enero, 1991, vol. 10, no. 1, p. 5.

¹⁴ DEUSE, J; KONRAD, B y BOHNEN, F. Renaissance of group technology: Reducing variability to match lean production prerequisites. En: Science Direct. Junio, 2013, vol. 46, no. 9, p. 998.

¹⁵ ZAFAR, Maral y AZAB, Ahmed. A Novel Bi-level Continuous Formulation for the Cellular Manufacturing System Facility Layout Problem. En: Science Direct. 2015, vol. 33, p. 87.

papel importante en las empresas de pequeña y mediana producción y propone que el diseño de estas instalaciones para esos sistemas de fabricación sea en grupo, donde se incluya relaciones intercelulares e intracelulares, desarrollando modelos de grupos de fabricación, modelo de pasillos verticales y horizontales para eliminar cualquier posible traslado entre las herramientas de la máquina y entre las células.

Kia et al (2012)¹⁶, describió que el problema de diseño de un sistema de fabricación celular puede ser aplicado también a campos dinámicos, donde las mezclas de los productos y las demandas de las piezas varían durante un horizonte de tiempo, mediante la aplicación de un modelo de optimización no lineal de entero mixto.

En la búsqueda del diseño de un sistema de manufactura celular que tenga en cuenta múltiples ubicaciones de plantas, asignación de múltiples mercados con planificación de producción y varias combinaciones de productos, Aalaei y Davoudpour¹⁷, presentan un modelo matemático que minimiza el total de los costos del manejo de materiales Intra e Inter celular, el transporte externo, el costo fijo para producir cada parte en cada planta y el costo de la maquinaria.

Mohammadi y Forghani¹⁸, presentan un nuevo esquema de diseño en forma de S en sistemas de fabricación celular, donde se plantea un problema integrado de celdas Bi – objetivo y diseño, considerando parámetros como: demanda, flujo de operación, dimensiones de las máquinas y estructura diametral de la zona de fabricación, teniendo como primer objetivo la minimización de los costos totales por manejo de materiales Intra e Inter celular y como segundo objetivo la maximización de la similitud entre máquinas.

2.1.3.1 Metodología de diseño

Para el diseño de células de manufactura se deben usar metodologías que identifiquen y resuelvan las necesidades del modelo físico en cada una de las etapas del proceso, apoyándose en criterios de selección de acuerdo a la

¹⁶ KIA, Reza; BABOLI, Armand; JAVADIAN, N.; TAVAKKOLI, Reza; KAZEMI, M. y KHORRAMI, Javad. Solving a group layout desing model of a dynamic cellular manufacturing system with alternative process routings, lot splitting and flexible reconfiguration by simularte annealing. En: Science Direct. Noviembre, 2012, vol. 39, no. 11, p. 2642.

¹⁷ AALAEI, Amin y DAVOUDPOUR, Hamid. A robust optimization model for cellular manufacturing system into supply chain management. En: Science Direct. Enero, 2017, vol. 183, parte C, p. 667-669.

¹⁸ MOHAMMADI, Mohammad y FORGHANI, Kamran. Designing cellular manufacturing systems considering S-shaped layout. En: Science Direct. Agosto, 2016, vol. 98, p. 221.

complejidad y funcionalidad en la célula, por tal motivo Guerrero, López y Díaz¹⁹, proponen recopilar información de los equipos, procesos y productos para el diseño del modelo físico de una célula de manufactura, que permita llevar el seguimiento lógico de las operaciones del proceso productivo y sirva como guía general para el planteamiento de posibles escenarios de sistemas celulares.

En la búsqueda de diseño y operación de sistemas de fabricación celular, Fahmy²⁰, en su trabajo utiliza algoritmos genéticos para resolver el problema de formación de células integradas, con diseño y programación de grupo en una de configuración de trabajo. El cromosoma del algoritmo genético está diseñado para representar las tres decisiones de tal manera que permita la máxima flexibilidad de diseño y funcionamiento. El rendimiento del algoritmo presentado se compara con la del modelo MILP mediante la resolución de una serie de problemas generados aleatoriamente en un estudio experimental.

Continuando la búsqueda del diseño de células en los sistemas de fabricación celular, Salum²¹ propone un enfoque de dos fases basado en la reducción total del tiempo de espera y los volúmenes de las partes de flujo entre las máquinas, para diseñar una disposición de células en un sistema de manufactura celular que reduce el tiempo de entrega de las piezas fabricadas y el tiempo total del manejo de materiales.

El diseño de la disposición de sistemas de fabricación de células múltiples incluye el diseño de la disposición de células y el diseño de la trayectoria de flujo, con base en esto, Ho y Moodie²², integra un algoritmo de búsqueda y modelos de programación lineal para el diseño de células y su trayectorias de flujo, con el fin de evitar inconvenientes con los métodos tradicionales y minimizar el costo y el manejo de materiales.

Sarker²³, considera el problema de diseño entre células que se da por la trayectoria de flujo y la generación de máquinas con cuellos de botella, éste

¹⁹ GUERRERO, John; LÓPEZ, Diana y DÍAZ, Ermilso. Modelo físico de una célula de manufactura, aplicado a un caso de estudio. En: Investigación, Tecnología y Ciencia. Enero - Diciembre, 2016. p. 77-82.

²⁰ FAHMY, Sherif A. Optimal Design and Scheduling of Cellular Manufacturing Systems An Experimental Study. En: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Octubre, 2016. p. 004532-004533.

²¹ SALUM, L. The cellular manufacturing layout problem. 2000. Citado por EBRAHIMI, Ahmad; KIA, Reza y RASHIDI, Alireza. Solving a mathematical model integrating unequal-area facilities layout and part scheduling in a cellular manufacturing system by a genetic algorithm. En: Springer Open. 2016, p. 3.

²² HO, Y.C. y MOODIE, C.L. A hybrid approach for concurrent layout design of cells and their flow paths in a tree configuration. En: Int. J. Prod. Res. Noviembre, 2000, vol. 38, no. 4, p. 895-928. Citado por JERIN, I.; SARAVANASANKAR, S. y PONNAMBALAM, S.G. Integrated Layout Design Approach for Cellular Manufacturing System Environment. En: Journal of applied science. 2012, vol. 12, no. 23, p. 2411.

²³ WANG, S. y SARKER, B.R. Locating cells with bottleneck machines in cellular manufacturing system. En: Int. Journal of Production Research. 2002, vol. 40, p. 403-424. Citado por FALLAH-

propone resolverlo mediante la metodología de asignación cuadrática (QAP), en donde se asigna a cada célula diferentes máquinas en diferentes lugares para reducir el costo total de manipulación de material entre células.

2.1.3.2 Metodología de agrupamiento

En una distribución de manufactura celular es de vital importancia agrupar familias de productos o partes de acuerdo a determinadas características que los hacen similares, permitiendo que se use para su fabricación los mismos recursos en cuanto a máquinas, materias primas, personal, entre otros aspectos, de acuerdo al requerimiento anterior Medina, Cruz y Pinzón²⁴, proponen generar células de manufactura bajo el desarrollo de un Algoritmo de Ordenamiento Binario (AOB) para el ordenamiento de matrices pieza – máquina de acuerdo a un peso dado, permitiendo observar grupos con características similares.

La necesidad de desarrollar métodos eficientes para el agrupamiento de células de manufactura que consideren la asociación de partes para la formación de familias y el agrupamiento de máquinas para la formación de celdas de manera simultánea, es de vital importancia para la toma de decisiones al momento de distribuir una planta en células de manufactura, por tal motivo, Ortiz et al (2008)²⁵, consideran dos algoritmos para solucionar la formación de células, el primero denominado Algoritmo de cadena de energía BEA (Bond Energy Algorithm), el cual identifica y despliega grupos de variables naturales de acuerdo a un peso de similitud, ordenando columnas (de arriba a abajo) y filas (de derecha a izquierda) de mayor a menor y el Algoritmo de agrupación directa DCA (Direct Clustering Algorithm), que mueve las filas, con las celdas más positivas de la izquierda a la parte superior, y las columnas con las celdas más positivas de la parte superior, a la izquierda de la matriz. Los autores a partir de estas dos metodologías de agrupamiento de celdas plantean medir la eficiencia de cada una de ellas.

Chan F., Lau, Chan P.L.Y y Choy²⁶, propuso un enfoque de dos etapas mediante el uso de modelos de análisis integral (IAM) para la solución de problemas de formación de células de manufactura y su disposición de forma secuencial, con el objetivo de minimizar la unidad de distancia del movimiento intercelular.

ALIPOUR, K. y SHAMSI, R. A Mathematical Model for Cell Formation in CMS Using Sequence Data. En: J. of industrial and Systems Engineering. 2008, vol. 2, no. 2, p. 145.

²⁴ MEDINA, Pedro; CRUZ, Eduardo y PINZÓN, Manuel. Generación de celdas de manufactura usando el Algoritmo de Ordenamiento Binario (AOB). En: Universidad Tecnológica de Pereira. Abril, 2010. No, 44, p. 106-108.

²⁵ ORTIZ F., Fernando. et al. Comparación de la eficiencia de la solución de dos métodos usados para formar células de manufactura: BEA y DCA. En: 6th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Tegucigalpa, Honduras. Junio, 2008, p. 1-5.

²⁶ CHAN, Felix; LAU, K.W.; CHAN, P.L.Y y CHOY, K.L. Two-stage approach for machine-part grouping and cell layout problems. En: Science Direct. Julio, 2006, vol. 22, no. 3, p. 217.

El diseño de un sistema de manufactura celular (CMS) a menudo implica tres decisiones importantes: la formación de células, la disposición del grupo y el horario, en base a esto, Wu, Chu, Wang y Yan²⁷, en su estudio, desarrollo un algoritmo genético jerárquico, para identificar y formar simultáneamente células de fabricación y determinar el diseño de grupo de un CMS.

2.1.3.3 Metodología de distribución

La distribución de las instalaciones en los sistemas de fabricación de manufactura celular (CMS), es uno de las elementos más importantes para lograr el óptimo desarrollo de los procesos en una industria manufacturera, teniendo en cuenta esto, Wang, Wu y Liu²⁸, formulan en su trabajo un modelo para resolver el problema de diseño en dichas instalaciones, con variación en la demanda, mediante el uso de un algoritmo de recocido simulado donde el objetivo es minimizar el costo total del manejo de materiales y al mismo tiempo mejorar el diseño.

Por último, Kia, Tavakkoli, Javadian, et al²⁹, presenta en su trabajo un modelo matemático de programación no lineal de entero mixto, para resolver el problema de distribución de las instalaciones de un sistema de fabricación celular dinámico, el modelo involucra diferentes características de diseño tales como: rutas de procesamiento alternativas, flujo de operación, tiempo de procesamiento, volumen de producción, máquinas con su respectivo costo y capacidad, entre otros.

²⁷ WU, Xiaodan; CHU, Chao – Hsien; WANG, Yunfeng y YAN, Weili. A genetic algorithm for cellular manufacturing design and layout. En: Science Direct. Agosto, 2007, vol. 181, no. 1, p. 156.

²⁸ WANG, T.Y; WU, K.B y LIU, Y.W. A simulated annealing algorithm for facility layout problems under variable demand in cellular manufacturing systems. En: Science Direct. Marzo, 2001, vol. 46, no. 2, p. 181.

²⁹ KIA, Reza; TAVAKKOLI – MOGHADDAM, R.; JAVADIAN, Nikbakhsh; BABOLI, A y KAZEMI, M. A group layout desing model of a dynamic cellular manufacturing system. En: IEEE, 3rd International Conference on Communication Software and Networks. Septiembre, 2011, p. 745.

3. METODOLOGÍA DE DISEÑO

Las metodologías implementadas para el diseño físico de las celdas de manufactura cada vez son más sofisticadas y alcanzan un mayor grado de efectividad en los resultados obtenidos, ya que, identifican, especifican y desarrollan las necesidades del proceso productivo, permitiendo reducir los desperdicios y aumentar la calidad de los productos.

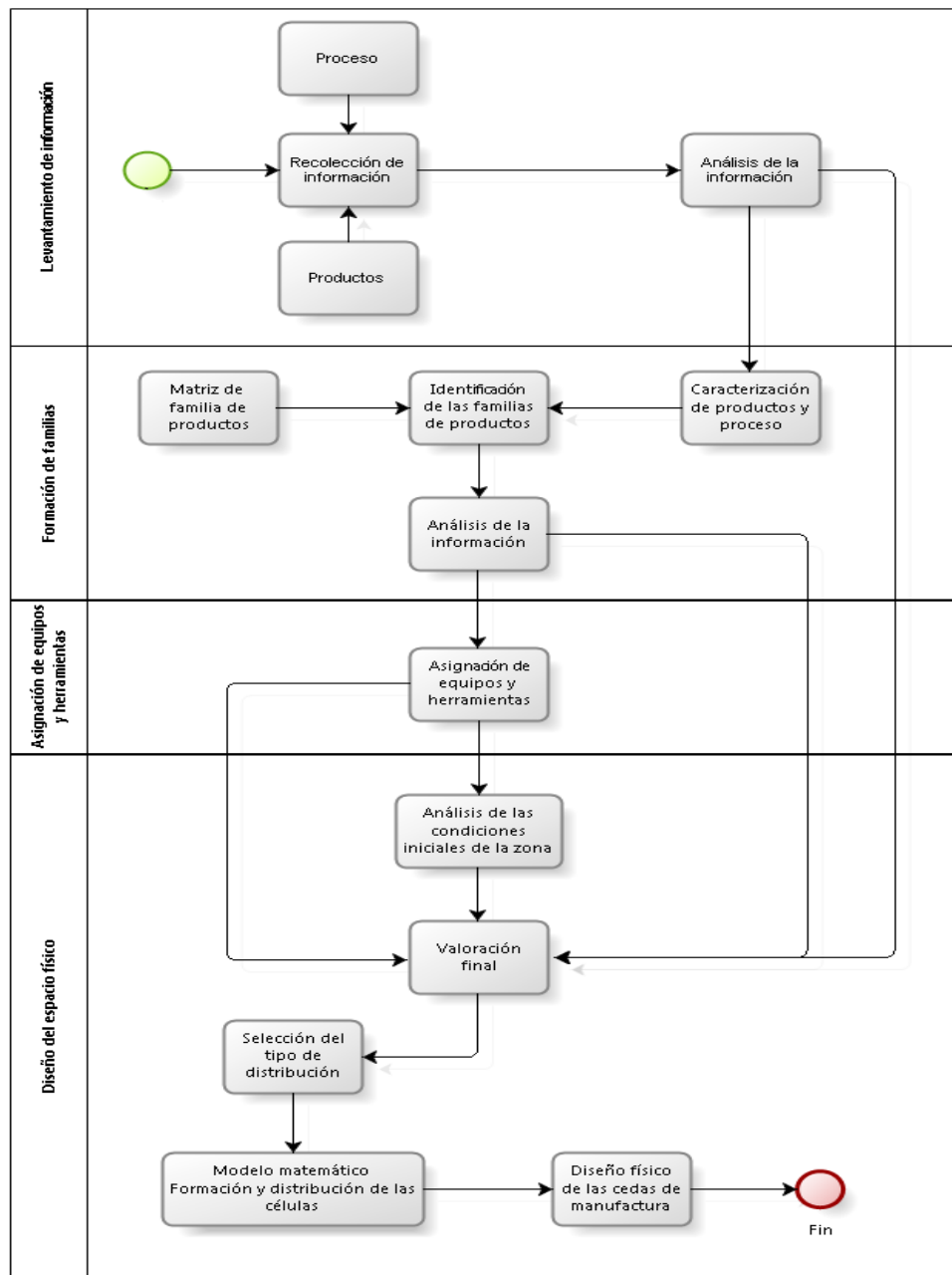
Los resultados logrados después de implementar celdas de manufactura en un área productiva depende altamente del diseño, la formación y la ubicación de las células, por ende, es de vital importancia seguir una metodología enfocada en los diferentes campos de estudio de las CM, por dicha razón, se propone para el desarrollo de este proyecto una metodología basada en la formación de familias, el flujo productivo, los elementos que conforman la célula y el espacio diametral de la zona, con el fin de llevar una secuencia lógica en las operaciones, donde se precisen las semejanzas en los procesos y los productos.

La metodología general para el diseño del modelo físico de células de manufactura, se realiza teniendo en cuenta algunas ideas de Guerrero, López y Díaz³⁰, y del libro de Villaseñor y Galindo³¹, abarcando desde la recolección de la información actual hasta el diseño, ver (Figura 5).

³⁰ GUERRERO, John; LÓPEZ, Diana y DÍAZ, Ermilso. Modelo físico de una célula de manufactura, aplicado a un caso de estudio. En: Investigación, Tecnología y Ciencia. Enero - Diciembre, 2016. p. 80.

³¹ VILLASEÑOR, Alberto y GALINDO, Edber. Conceptos y reglas de lean manufacturing. 1 ed. México: Limusa, 2007. ISBN-13: 978-968-18-6966-3.

Figura 5. Metodología general de diseño del modelo físico de células de manufactura

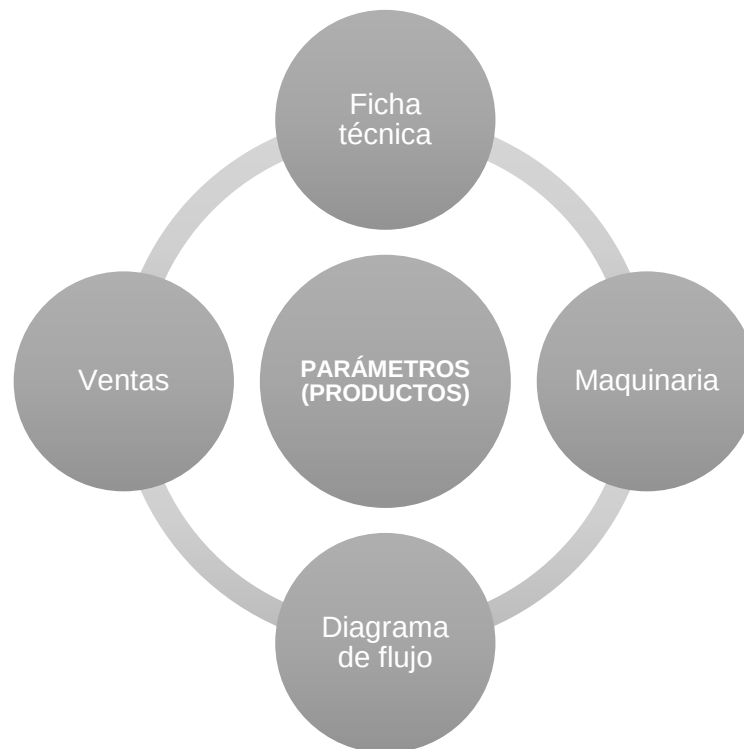


3.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

3.1.1 Información de productos

Para realizar el diseño físico de celdas de manufactura es necesario conocer las características físicas más relevantes de los productos fabricados por la empresa y la maquinaria por la cual pasan para su transformación, para ello se proponen algunos parámetros puntuales para la recolección de la información, ver (Figura 6), con el fin de tener una visión global de los productos e identificar similitudes entre ellos.

Figura 6. Parámetros para la recolección de información de productos

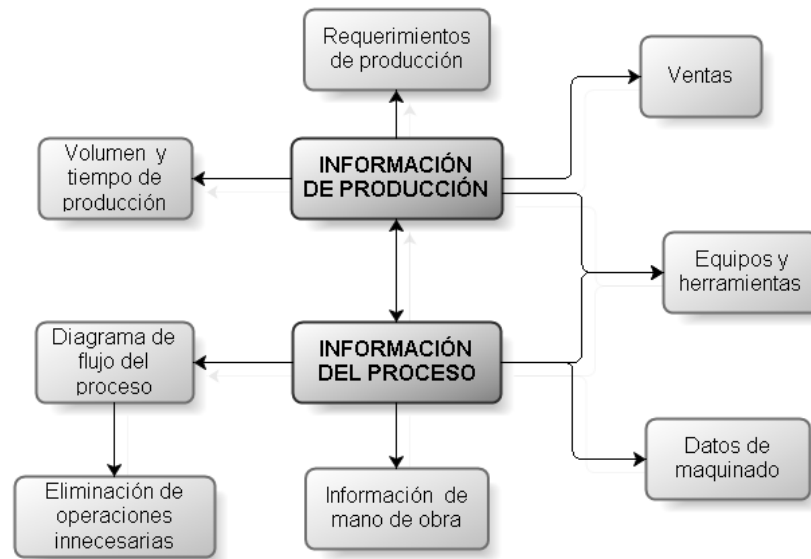


Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Información de producción y del proceso

Para determinar los aspectos generales del proceso productivo de una empresa es necesario recolectar la información respectiva a la producción y al proceso. (Ver Figura 7)

Figura 7. Parámetros para la recolección de la información de producción y del proceso



Fuente: Elaboración propia.

3.2 SELECCIÓN Y AGRUPAMIENTO DE FAMILIAS

Una vez obtenida la información de cada producto y de los procesos se procede a identificar las familias de partes, con las máquinas utilizadas para su transformación durante el proceso productivo.

3.2.1 Matriz pieza – máquina

Tabla que hace uso de unos o ceros para identificar productos similares que utilizan determinadas máquinas, para ello es necesario conocer las rutas de fabricación de cada uno de los productos o el análisis del flujo productivo (AFP), con el fin de resumir de manera ordenada la información.

1. Determinar el conjunto de productos y máquinas.
2. Realizar una tabla o una matriz binaria, permutando filas (productos) y columnas (máquinas), donde:

$$m = \text{Producto}$$

$n = \text{Máquina}$

$$X_{mn} = \begin{cases} 1 = \text{El producto } (m) \text{ es fabricado por la máquina } (n), \\ 0 = \text{De lo contrario.} \end{cases}$$

2. Determinar la pertenencia a nuevos subconjuntos, donde se tengan en cuenta las semejanzas geométricas, materias primas, operaciones, peso, volumen, etc.

3.2.2 Algoritmo de Ordenamiento Binario

Metodología diseñada para generar el agrupamiento de productos y máquinas en celdas de manufactura a partir de la información dada por la matriz pieza – máquina, dando un peso específico a cada fila y a cada columna, con el fin de ubicar en la misma zona los ítems que tengan una magnitud similar.

Para el procedimiento lógico del Algoritmo de Ordenamiento Binario que se plantea a continuación se tiene que:

$k = \text{representa la posición de la fila o de la columna}$

$n = \text{Número total de máquinas}$

$m = \text{Número total de productos a fabricar}$

Donde (k) , (m) y (n) son enteros.

1. Ordenamiento por filas:

- 1.1. Enumerar cada columna con un número entero de $1-k$.
- 1.2. Asociar al final de cada columna (k) el número entero dado por 2^{n-k}
- 1.3. Calcular para cada fila al final de ésta, el producto escalar entre el vector fila (m) de cada producto y el vector fila dado por 2^{n-k} , hallado en el paso anterior.
- 1.4. Ordenar las filas de mayor a menor de acuerdo al valor fila obtenido para cada producto.

Nota: si las filas no cambian de posición, quiere decir que ya se encuentran ordenadas, de lo contrario se debe pasar al paso número 2.

2. Ordenamiento por columnas:

- 1.1. Enumerar cada fila con un número entero de 1-k.
- 1.2. Asociar al final de cada fila (k) el número entero dado por 2^{m-k}
- 1.3. Calcular para cada columna el producto escalar entre el vector columna (n) de cada máquina y el vector columna dado por 2^{m-k} , hallado en el paso anterior.
- 1.4. Ordenar las columnas de mayor a menor de izquierda a derecha de acuerdo al valor columna obtenido para cada máquina.

Nota: los pasos 1 y 2 se deben repetir hasta que dejen de haber cambios en la matriz, siguiendo el orden mostrado anteriormente.

3. Cuando no se generan más cambios en la matriz, quiere decir que está ya se encuentra ordenada, en ella se visualizan grupos de unos (1) asociando cada uno de estos a una celda de manufactura y en algunas ocasiones los grupos se distinguen fácilmente Figura (8), en aquellas donde NO se refleje con facilidad se deben tomar criterios adicionales, los cuales pueden ser subjetivos para hacer el corte de cada grupo o pueden estar relacionados con el flujo del proceso.

Figura 8. Grupos de celdas de manufactura ordenados con base al Algoritmo de ordenamiento binario

Máquina	Parte																			
	1	4	9	15	16	20	2	3	5	8	11	14	17	19	6	7	10	12	13	18
A	1	1	1	1	1	1														
D	1	1	1	1	1	1														
G	1	1	1	1	1	1														
B							1	1	1	1	1	1	1	1						
F							1	1	1	1	1	1	1	1						
I							1	1	1	1	1	1	1	1						
C															1	1	1	1	1	1
E															1	1	1	1	1	1
H															1	1	1	1	1	1
J															1	1	1	1	1	1

Fuente. Generación de celdas de manufactura usando el algoritmo de ordenamiento binario (AOB), pág. 109.

4. Por último, se debe rediseñar el flujo del proceso productivo total o de cada una de las familias formadas.

3.3 ASIGNACIÓN DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Una vez se tenga conocimiento del conjunto de partes o productos que conforman las familias, se procede a realizar la siguiente secuencia de pasos para lograr una adecuada selección, asignación y agrupación de equipos y herramientas (Tabla 1).

Tabla 1. Fases del proceso de asignación y agrupamiento de equipos y herramientas.

N°	Fases del proceso de asignación y agrupación de equipos y herramientas	Característica principal	Requisitos
1	Determinar el tipo de célula de manufactura	Arquitectura física de la zona de producción	Diseño lógico del modelo físico de una célula de manufactura
2	Definición y determinación de equipos y herramientas	Instrumentos requeridos	Diagrama de flujo del proceso y criterios de selección de equipos.
3	Determinar el factor humano	Evaluación y selección de capacidades	Capacitación en distintas tareas y operaciones en la célula de manufactura
4	Diseño del nuevo diagrama de flujo del proceso	Descripción del flujo productivo	Secuencia de operaciones

Fuente. Modelo físico de una célula de manufactura, aplicado a un caso de estudio, pag 81.

3.4 DISEÑO DEL ESPACIO FÍSICO

En este apartado se evalúa el área física de producción existente de la empresa, con el fin de conocer el espacio físico con que se cuenta para la disposición de maquinaria y equipo, mano de obra y sistemas de transporte, permitiendo realizar la distribución de la célula, teniendo en cuenta los requisitos mínimos de conformidad y la ejecución de su funcionamiento de manera correcta. Una vez se tenga el área física disponible se procede a distribuir, ubicar y delimitar todos los elementos anteriormente mencionados, mediante el uso de un método de

distribución de planta que disminuya la incertidumbre de la formación de células de manera manual, refinando los procesos de asignación.

Las fases a realizar para el diseño del espacio físico son (Tabla 2):

Tabla 2. Fases de planificación del diseño físico de células de manufactura

Nº	Fases de la planificación del diseño físico de células de manufactura	Característica principal	Requisitos
1	Realizar un diagnóstico inicial de la distribución de la empresa	Estimar las características del área física	Planos de la planta
2	Método de Guerchet	Calcular el área necesaria para ubicar las máquinas.	Medidas del área de las máquinas.
3	Método SLP	Planear la distribución de planta de acuerdo al flujo de producción	Planos y superficie total de las máquinas.
4	Rediseñar el proceso de fabricación y la distribución física de la planta	Redistribuir el área física de la planta con base a los resultados obtenidos anteriormente	Resultado del método AOB y SLP.

Fuente. Elaboración propia.

A continuación se detallan cada una de las fases de planeación del diseño físico de las células de manufactura mencionadas en la tabla 2.

3.4.1 Diagnóstico inicial de la distribución de la empresa

Reconocimiento del flujo del proceso productivo, las áreas de trabajo y la ubicación de las máquinas dentro del proceso de producción y el área que estas ocupan.

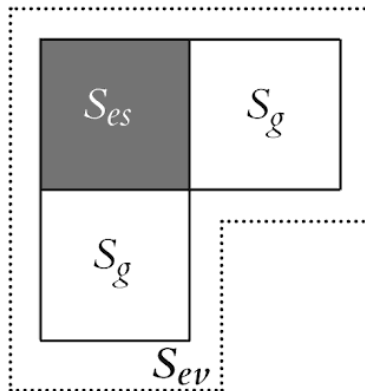
3.4.2 Método de Guerchet

El método de Guerchet evalúa la superficie que se requiere para ubicar los equipos o máquinas necesarios en cada puesto de trabajo y en la planta de

producción completa. Según este método, la superficie total está dada por la suma de tres superficies parciales (figura 9).³²

$$St = (Se + Sg + Sv)$$

Figura 9. Superficies de Guerchet



Fuente. Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible, pág. 51.

Donde;

- Superficie estática (Se): Es la superficie en unidades cuadráticas de las dimensiones de las máquinas, es decir, es la unidad en metros cuadrados que ocupa físicamente la maquinaria en el área de trabajo, generalmente estas medidas se encuentran en las fichas técnicas elaboradas por el fabricante.
- Superficie de gravitación (Sg): Es la superficie alrededor de la máquina utilizada por los trabajadores para operar la máquina y por el material que se está procesando en el puesto de trabajo. Esta superficie se obtiene para cada máquina, multiplicando la superficie estática por el número de lados (N) a partir de los cuales la máquina puede ser utilizada. Donde;

$$Sg = Se * N$$

³² CUATRECASAS, Lluís. Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible. Barcelona: Profit, 2009. ISBN: 97884929568852, pag. 51 – 53.

- Superficie de evolución (S_v): Corresponde a la superficie necesaria a reservar entre los diferentes puestos de trabajo para los desplazamientos del personal, del material y del medio de transporte. Esta superficie se obtiene a partir de la suma de la superficie estática y la superficie de gravitación multiplicada por un coeficiente (k) que varía dependiendo de la actividad productiva de la empresa entre un rango de 0,05 a 3 (Figura 10).

$$S_v = (S_e + S_g) * k$$

Figura 10. Coeficientes para la superficie de evolución (K)

TIPOS DE ACTIVIDAD PRODUCTIVA	K
Gran industria, alimentación y evacuación mediante grúa puente	0,05 a 0,15
Trabajo en cadena, con transportador aéreo	0,1 a 0,25
Textil, hilados	0,05 a 0,25
Textil, tejidos	0,5 a 1
Relojería y joyería	0,75 a 1
Pequeña mecánica	1,5 a 2
Industria mecánica	2 a 3

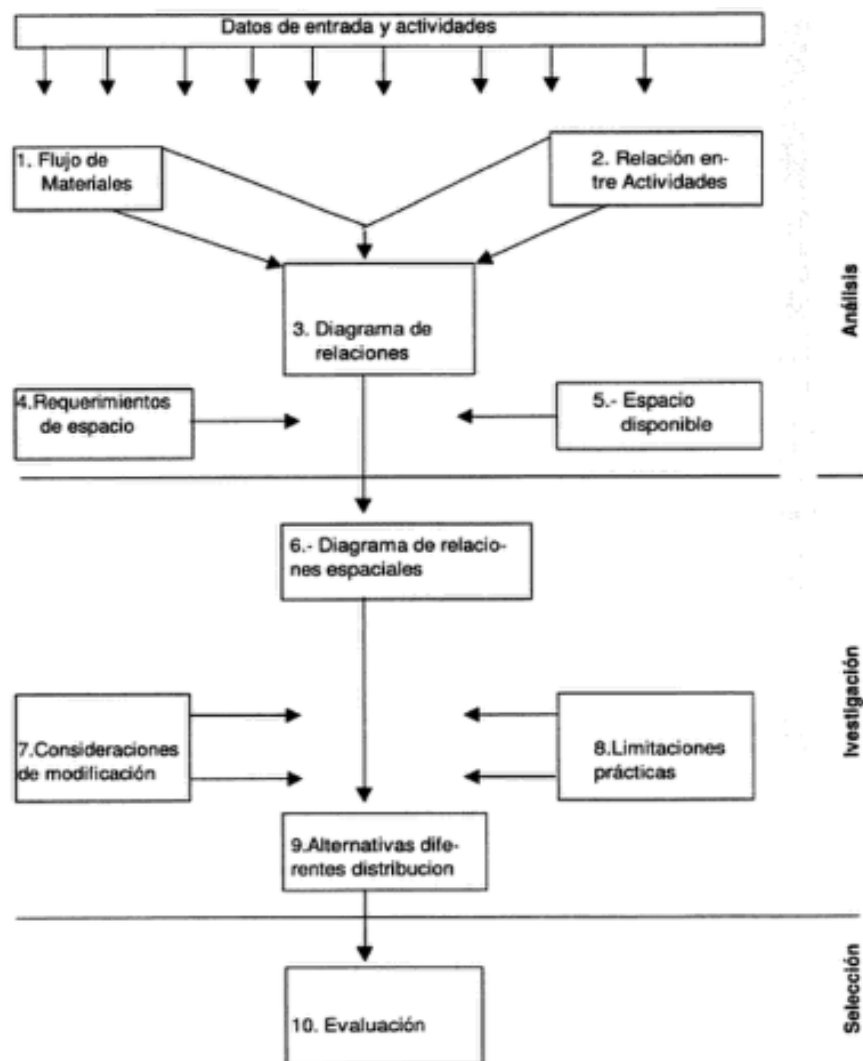
Fuente. Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible, pág. 52.

3.4.3 Método SLP

El método SLP (Systematic Layout Planning) fue desarrollado por Richard Muther, como un procedimiento sistemático multicriterio relativamente simple, para la solución de problemas de distribución de planta y está constituido por varias fases (Figura 11), en una serie de procedimientos y símbolos convencionales para identificar, evaluar y visualizar los elementos y áreas involucradas.³³

Figura 11. Fases del Método SLP

³³ FUENTE, David y FERNANDEZ, Isabel. Distribución en planta. Universidad de Oviedo, 2015, pág. 31 – 38.



Fuente. Distribución en planta, pág. 31.

Una vez conocido el recorrido de productos, se plantea el tipo y la intensidad existente entre las diferentes actividades productivas, para ello se emplea un diagrama o una tabla relacional de actividades, de una manera lógica que permita clasificar la intensidad de dichas relaciones.

El diagrama relacional de actividades, consiste en un cuadro organizado en diagonal que describe de forma cualitativa el grado de acercamiento entre áreas, donde expresa las necesidades de acercamiento mediante una simbología de 6 letras que puede variar por diferentes razones (Figura 12), las ultimas pueden cambiar de acuerdo a los razones del analista.

Figura 12. Medición del grado de acercamiento entre actividades

SIMBOLOGÍA	CERCANIA
A	Absolutamente necesario
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinario
U	Insignificante
X	No deseable

a) Necesidades de acercamiento

CÓDIGO	RAZÓN
1	Cantidad de flujo
2	Costo de manejo de materiales
3	Equipo usado para manejar materiales
4	Comunicación estracha
5	Intercambio de personal
6	Intercambio de equipo o maquinaria
7	Separación necesaria por: ruido o peligro

b) Razón por la cual se da el acercamiento

Fuente. Distribución en planta, pág. 34.

Después de conocer el grado de acercamiento entre áreas, se realiza un **Diagrama relacional de recorridos**, el cual tiene como objetivo representar espacialmente las relaciones entre las actividades con base a la información que se dispone, utilizando como premisa básica la proximidad geográfica y un enfoque de “ensayo y error”. Dicho diagrama se representa a través de un diagrama de hilos, el cual es un grafo que mediante nodos representa las actividades unidas por líneas y estas a su vez expresan la existencia de algún tipo de relación entre las actividades, cuya intensidad está reflejada mediante un número de líneas, adicionalmente se debe minimizar el número de cruces entre estas que representan las relaciones entre actividades. El objetivo del diagrama de hilos es conseguir distribuciones donde las actividades con mayor flujo estén lo más cerca posible. Ver Figura 13.

Figura 13. Código de líneas para el Diagrama de Hilos

SIMBOLOGÍA	CERCANIA	VALOR	CÓDIGO DE LÍNEAS
A	Absolutamente necesario	4	
E	Especialmente importante	3	
I	Importante	2	
O	Ordinario	1	
U	Insignificante	0	
X	No deseable	-1	

Fuente. Elaboración propia.

A pesar de que los diagramas relacionales de actividades y de recorridos recogen información sobre las necesidades de proximidad y ubicación de cada actividad, estos no tienen en cuenta las dimensiones y la forma de cada área, por tal motivo se requiere el uso de un **Diagrama relacional de espacios** que permita tener en cuenta la cantidad de superficie a escala y el área destinada para cada actividad,

de forma tal que el tamaño que ocupa cada uno sea proporcional al área destinada dentro de la planta. Se trata pues, de transformar el diagrama ideal en una serie de distribuciones reales, considerando todos los factores condicionantes y limitaciones prácticas que afectan al problema.

4. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Condisazón es una empresa dedicada a la producción y comercialización de condimentos y sazónadores en polvo, enteros, picados y líquidos, con 13 años de experiencia en el mercado de alimentos. Se encuentra ubicado en Tuluá en la Carrera 25 No. 21-63, ésta empresa comercializa sus productos tanto en Tuluá como en los municipios aledaños del Valle del Cauca, tales como: Buga, San Pedro, Bugalagandre, Andalucía, Zarzal, Sevilla, Río Frio, Roldanillo, Trujillo, La Unión, Salónica, Bolívar y la Marina.

Actualmente Condisazón cuenta con registro INVIMA y comercializa 36 productos con diferentes presentaciones y referencias, tal como se muestra en la Tabla 4, y con mayor profundidad en el anexo 1, estos se clasifican en: comercializados y productos terminados, el primero se refiere a aquellas materias primas que no presentan ningún tipo de transformación durante el proceso productivo de Condisazón, solo son re – empacadas, etiquetadas y distribuidas por ésta empresa y la segunda clasificación se refiere a todos los productos fabricados por ésta.

La distribución y comercialización de los productos de Condisazón se realiza mediante un canal de distribución TAT masivo, directo e indirecto (Tienda a Tienda); la distribución indirecta permite que los productos estén al alcance del consumidor, llegando a la mayoría de la población a través de minoristas (Tiendas) que venden al consumidor final, y de manera directa con las ventas al consumidor en el punto de fábrica.

4.1.1 Distribución actual

Condisazón actualmente cuenta con una distribución en planta basada en el proceso y fabrican pequeños lotes con base a los requerimientos de los clientes, manejando un sistema pull para iniciar su producción. El producto a fabricar pasa por diferentes áreas (Figura 14) en función de las operaciones que requiere para su elaboración, debido a esto, se generan diferentes flujos de materiales, donde el personal y los equipos realizan la misma función y se adaptan rápidamente para fabricar diversos tipos de productos. Las áreas que conforman la planta son:

- **Bodega:** almacenamiento de producto terminado debidamente empacado y codificado, insumos para la fabricación de líquidos y materias primas con orden de devolución al proveedor.

- **Bodega de MP de productos molidos:** almacenamiento de MP para la fabricación de productos molidos.
- **Bodega de MP de productos enteros:** almacenamiento de MP para la fabricación de productos enteros.
- **Oficina:** área administrativa.
- **Recepción y despacho:** recibo de materias primas, insumos y despacho de producto terminado.
- **Cernido:** área donde se cierne la materia prima y se tamiza el producto terminado.
- **Mezclado:** área donde se preparan las mezclas de materia prima para darle inicio a la transformación de los productos.
- **Producción:** Área de selección de materias primas, picado, llenado, pesado, empackado y sellado.
- **Etiquetado:** Almacenamiento de empaques de polietileno y etiquetas.
- **Molienda:** Área de mezcla y reducción del tamaño de las partículas de producto en proceso que requieren tomar forma de polvo.
- **Desechos:** Almacenamiento de residuos generados dentro del proceso de fabricación.
- **Vestier:** estancia utilizadas por los operarios para cambiarse de ropa.
- **Baño**

Figura 14. Mapa de la distribución actual de Condisazón



Fuente. Elaboración propia.

Tabla 3. Descripción de las áreas del plano

No.	ÁREA	MÁQUINAS
1	Bodega	
2	Bodega de MP de productos molidos	
3	Recepción y despacho	1 Gramera
4	Oficina	
5	Vestier	
6	Cernido	1 Balanzón 1 Tamiz vibratorio 1 Zaranda
7	Baño	
8	Bodega MP de productos enteros	
9	Mezclado	
10	Producción	2 Gramera 3 Grapadora industrial 1 Perforadora 1 Picador 4 Selladoras de pedal
11	Etiquetado	1 Codificadora
12	Molienda	2 Molinos de disco 1 molino de martillo
13	Desechos	

Fuente. Elaboración propia.

Nota: en el área de cernido se encuentra ubicado un balanzón que no es usado en ésta área, sin embargo se encuentra ubicado en este sitio por temas de espacio y agilidad.

4.2 INFORMACIÓN GENERAL

4.2.1 Clasificación de productos:

- **Picados:** productos que durante su proceso de fabricación solo pasan por la sección de picado y eliminación de residuos, si el producto lo requiere, obteniendo como presentación final pequeñas tiras de producto.

- **Enteros:** productos que no sufren transformación en su contextura, requieren de algunos procesos de sanidad y almacenamiento para ser comercializados.
- **Molidos:** los condimentos molidos son productos terminados a base de enteros y de otros que se utilizan como materia prima para realizar su proceso de fabricación. En este proceso se requiere que algunos de estos pasen primero por el área de mezclado antes de la molienda para así obtener el producto final, tales como el ajo molido, azafrán de Raíz y de Achiote, Canela molida, etc. En esta clasificación también se encuentran productos de comercialización con la misma contextura los cuales son comprados a otros proveedores.
- **Líquidos:** productos de comercialización que no requieren de un proceso de transformación en el área de producción de Condisazón. Dentro de estos encontramos las salsas, la miel, la mostaza y el ají.

Tabla 4. Clasificación de productos

PRODUCTOS					
N°	NOMBRE	CLASIFICACIÓN			
		PICADO	MOLIDO	ENTERO	LÍQUIDO
1	Ablanda Carnes			X	
2	Acacia			X	
3	Acento		X		
4	Achiote		X	X	
5	Adobo		X		
6	Ají Picante				X
7	Ajo		X	X	
8	Almendras			X	
9	Anís Estrellado			X	
10	Azafrán (Achote)		X		
11	Azafrán (Raíz)		X		
12	Bicarbonato		X		
13	Boldo			X	
14	Caléndula			X	
15	Canela en Astilla			X	
16	Canela Molida		X		
17	Ciruelas Pasas			X	
18	Clavo de Olor		X	X	
19	Coco Deshidratado Rallado	X			
20	Comino		X	X	
21	Curry		X		
22	Guasca	X			

23	Laurel		X	X	
24	Linaza		X	X	
25	Manzanilla			X	
26	Miel				X
27	Mostaza			X	X
28	Nuez Moscada		X	X	
29	Orégano		X	X	
30	Pimienta		X	X	
31	Polvo para Hornear		X		
32	Salsa Negra				X
33	Tomillo		X	X	
34	Trisazón		X		
35	Uvas pasas			X	
36	Zen			X	
TOTAL		2	19	22	4

Fuente. Elaboración propia.

Nota: Las materias primas y sus cantidades no se tiene en cuenta dentro la elaboración del caso de estudio debido a la política de privacidad y poca información suministrada por la empresa.

4.2.2 Maquinaria y actividades manuales

Condisazón para realizar su proceso de fabricación cuenta con las siguientes máquinas (Tabla 5) y actividades manuales (Tabla 6) realizadas por los operarios:

Tabla 5. Máquinas usadas para la fabricación de condimentos y sazonzadores

CANTIDAD	MÁQUINAS	PROCESO
1	Balanzón	Pesado MP
1	Picador	Picado
1	Tamiz vibratorio	Zaranda PC
2	Molino de disco	Molienda
1	Molino de martillo	Molienda
1	Zaranda	Zaranda PT
3	Gramera	Pesado PT
4	Selladora de pedal	Empaque
1	Perforadora	Empaque
3	Grapadora industrial	Empaque
1	Codificadora	Empaque

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 6. Actividades manuales para la fabricación de condimentos y sazónadores

CANTIDAD	ACTIVIDAD	TIPO	PROCESO
1	Seleccionar	Manual	Selección
1	Mezclar	Manual	Mezcla
1	Pelar	Manual	Pelado
1	Llenar	Manual	Llenado
1	Empacar Y Almacenar	Manual	Almacenamiento

Fuente. Elaboración propia.

La descripción detallada de las máquinas se muestra en el Anexo 2.

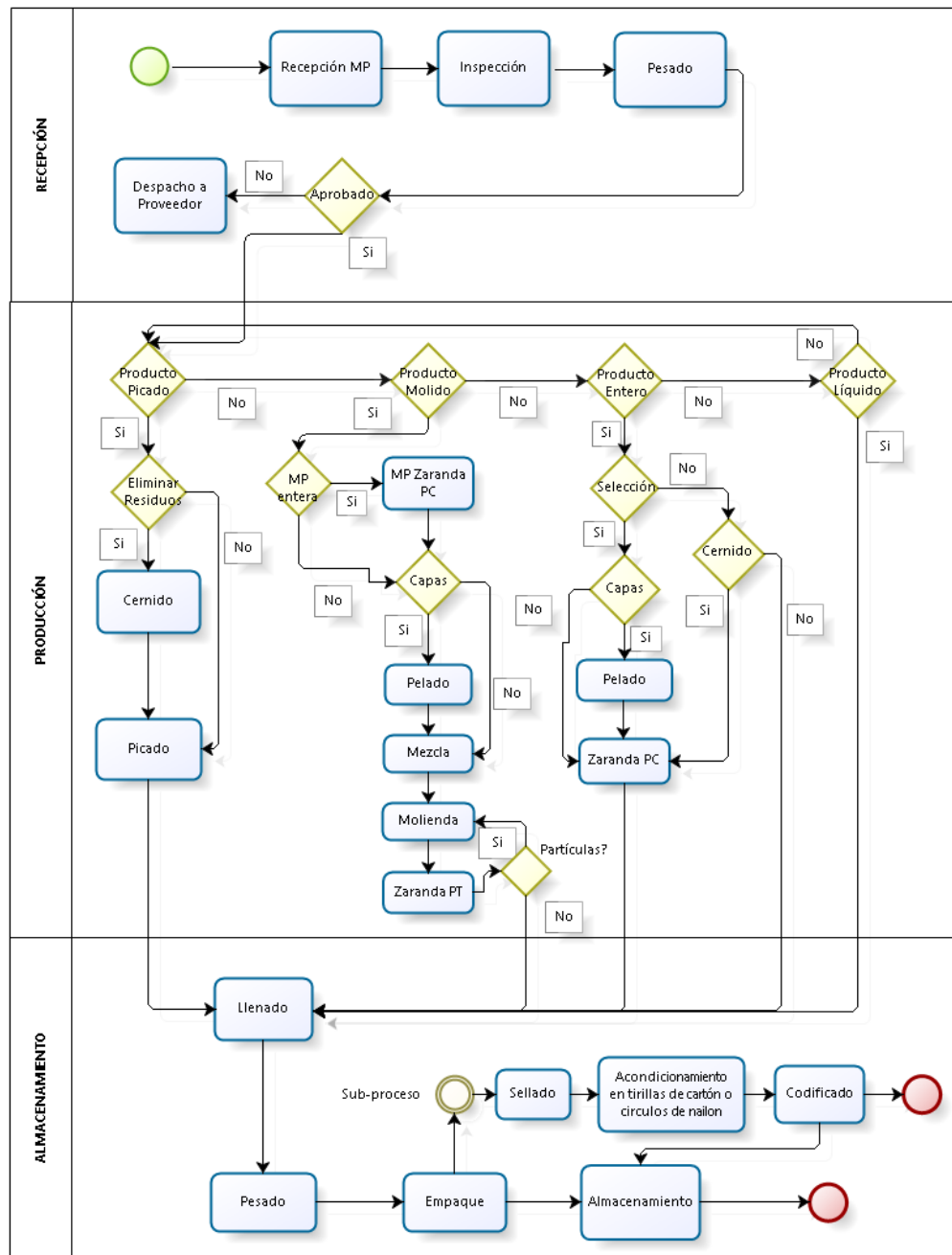
4.2.3 Análisis de Flujo Productivo (AFP)

Los procedimientos para la fabricación de productos, son mostrados en el diagrama de flujo actual (Figura 15) y descritos a continuación:

- **Recepción:** ingreso de materias primas e insumos requeridos para la fabricación.
- **Inspección y pesado:** verificación del estado en que se reciben las materias primas e insumos dados por los proveedores, con el fin de establecer si estos se encuentran en buenas condiciones, adicionalmente se verifica que la cantidad solicitada corresponda a la cantidad recibida, la fecha de vencimiento, lote, empaque y los parámetros establecidos por Condisazón.
- **Eliminación de residuos:** actividad realizada a través de un tamiz vibratorio, el cual sirve para verificar que el producto no se encuentre contaminado con alguna partícula ajena a éste y para separar las partículas de acuerdo a su tamaño, las cuales se pueden disponer para otro proceso.
- **Selección:** actividad manual realizada por operarios para clasificar las materias primas por tamaño para productos enteros y molidos y para separar las unidades que presenten uniformidad.
- **Picado:** proceso de corte en pequeñas tiras, realizado con una picadora industrial.
- **Llenado:** actividad manual realizada por operarios la cual consiste en llenar paquetes de bolsas plásticas con producto terminado teniendo en cuenta las referencias.

- **Pesado:** proceso donde se verifica que la cantidad que tiene el empaque corresponda a la cantidad de referencia del producto y se realiza a través de un balanzón y de una gramera.
- **Empaque:** actividad semimanual donde se acondiciona y se empaca el producto final para su distribución, en la primera se sellan las bolsas mediante una selladora de pedal y en la segunda son agrupadas en tirillas de cartón o círculos de nailon para su empaque y son codificadas con el lote, la vida útil, marca y referencia.
- **Almacenamiento:** almacenamiento en canastas de producto terminado de acuerdo a la referencia, de tal manera que puedan ser localizados rápidamente.
- **Pelado:** actividad manual realizada por operarios para remover las primeras capas de productos enteros como el ajo.
- **Molienda:** proceso que reduce el tamaño de las partículas de los productos en proceso que requieren tomar forma de polvo, éste se realiza a través un molino de martillo y un molino de disco, los cuales tienen un sistema cernidor que permite que las partículas más grandes pasen de nuevo al proceso de molienda con el fin de tener una uniformidad en el producto.
- **Mezcla:** actividad manual realizada por operarios encargados de la molienda de los productos en proceso y es realizada cuando se requiere la adicción de diferentes materias primas para la obtención del producto terminado.
- **Codificado:** Es el etiquetado con los datos principales del producto, como: nombre, código, referencia, lote, vida útil, marca y precio, a través de una maquina codificadora.
- **Sellado:** Es el proceso de sellado del empaque de polietileno, a través de una maquina selladora.

Figura 15. Diagrama de flujo actual



Fuente. Elaboración propia.

4.2.4 Ventas

La venta de productos Condisazón se ha impulsado debido a su estrategia de distribución tienda a tienda, que permite un mayor alcance del comprador para el consumo diario e incrementa la venta de condimentos que son empacados en referencias pequeñas equivalentes a una porción. La Tabla 7 muestra la venta por semana obtenida para los productos comercializados por Condisazón.

Tabla 7. Ventas de productos por semana

N°	PRODUCTOS	VENTA SEMANAL (Kg)	VENTA SEMANAL (g)
1	Ablanda Carnes	1,0	1000
2	Acacia	1,8	1750
3	Acento	6,1	6050
4	Achiote Entero	7,5	7500
5	Achiote Molido	8,9	8850
6	Adobo	12,6	12600
7	Ají Picante	11,3	11250
8	Ajo Entero	29,3	29300
9	Ajo Molido	30,5	30500
10	Almendras	2,0	2000
11	Anís Estrellado	5,4	5350
12	Azafrán (Achote)	40,0	40000
13	Azafrán (Raíz)	15,0	15000
14	Bicarbonato	50,1	50050
15	Boldo	2,0	1950
16	Caléndula	6,0	6000
17	Canela en Astilla	11,5	11500
18	Canela Molida	4,0	4000
19	Ciruelas Pasas	3,0	3000
20	Clavo de Olor Entero	3,0	3000
21	Clavo de Olor Molido	1,0	1000
22	Coco Rallado Natural Deshidratado	12,1	12050
23	Comino Entero	5,0	5000
24	Comino Molido	10,0	10000
25	Curry Molido	1,0	1000
26	Guasca	1,0	1000
27	Laurel Entero	1,0	1000
28	Laurel Molido	5,0	5000
29	Linaza Entera	5,0	4950
30	Linaza Molida	3,0	3000
31	Manzanilla	2,0	2000
32	Miel	12,3	12250
33	Mostaza Entera	1,5	1500
34	Mostaza Líquida	2,0	2000
35	Nuez Moscada Entera	1,0	1000
36	Nuez Moscada Molida	1,0	1000

37	Orégano Entero	1,0	1000
38	Orégano Molido	5,0	5000
39	Pimienta Entera	2,0	2000
40	Pimienta Molida	5,0	5000
41	Polvo para Hornear	1,0	1000
42	Salsa Negra	8,8	8750
43	Tomillo Entero	1,0	1000
44	Tomillo Molido	5,0	5000
45	Trisazón	1,0	1000
46	Uvas pasas	6,0	6000
47	Zen	1,0	1000

Fuente. Elaboración propia.

Al realizar una categorización de los productos de Condisazón a través de un análisis P-Q no afecta la distribución final de la planta en base a su clasificación y grupo de familia de producto, porque como se observa en la Tabla 7 los 18 productos Condisazón que tienen una demanda mayor a 5000 gr se encuentran todos los tipos de productos, tales como: molidos, enteros, líquidos y picados; clasificados en producto terminado y comercializado en base a su proceso productivo.

La distribución final se afecta cuando se realiza de acuerdo al tipo de producto con mayor demanda dentro del grupo objeto de estudio, es decir, teniendo en cuenta los 18 productos con mayor demanda de la Tabla 7, se selecciona por medio de la clasificación a los productos molidos que son los que tienen mayor frecuencia y de esta forma se realiza la distribución en planta por producto. Teniendo en cuenta esto, se realiza el desarrollo del caso de estudio con todos los productos, su clasificación y familia.

4.2.5 Información de mano de obra

La mano de obra representa el factor humano de la producción y sin ésta no se realiza el desarrollo de la actividad manufacturera. En la Tabla 8, se relaciona el número de operarios, el área donde laboran en Condisazón y los procesos o actividades que desarrollan. De los cuales, 5 operarios son mano de obra directa, es decir, que se encuentran en contacto directo con el proceso de fabricación de los productos que realiza Condisazón y 1 operario de mano de obra indirecta, el cual realiza actividades administrativas.

Tabla 8. Mano de obra

No. DE OPERARIOS	ÁREA	PROCESO / ACTIVIDAD
1	Recepción y despacho, almacenamiento y producto terminado.	Recepción y despacho, inspección y pesado, almacenamiento.
1	Producción y materia prima.	Eliminación de residuos, selección, pelado y picado.
2	Almacenamiento de producto molido.	Mezcla y Molienda.
2	Producción y materia prima.	Llenado, pesado, sellado y empaque.

Fuente. Elaboración propia.

4.3 SELECCIÓN Y AGRUPACIÓN DE FAMILIAS

Actualmente Condisazón procesa alrededor de 36 tipos de productos, los cuales según su clasificación de enteros, picados, molidos y líquidos pasan a ser realmente 47, ya que algunos productos tienen más de una presentación, estos son procesados en 11 máquinas con el apoyo de 5 actividades manuales, información detallada en la Matriz Producto Vs Máquina – Actividad Manual de la Tabla 9, ésta sirve como base para generar La solución en la que se observan los grupos de células que se lleguen a formar mediante el método AOB.

Para la construcción de la Matriz Producto Vs Máquina – Actividad Manual, es necesario apoyarse en dos matrices adicionales: la primera es la Matriz producto Vs proceso (Anexo 3), para identificar que productos hacen parte de determinados procesos y la segunda es la Matriz producto Vs máquina (Anexo 4), para de igual manera identificar las máquinas que son usadas para la fabricación de determinados productos. La unión de estas dos matrices se hace con el objetivo de identificar aquellos procesos que requieren de actividades manuales para su ejecución y así poder formar la matriz a utilizar no solo con las máquinas sino también con las actividades manuales (Tabla 9), con el fin de darle continuidad al proceso.

En las tres matrices nombradas anteriormente se representan los productos en filas y las máquinas – actividades manuales en columnas, dichas tablas no representan información asociada a la secuencia de las operaciones o al número de cada tipo de máquinas, solo muestran el paso de cada producto por un proceso, máquina o actividad manual, en las cuales se observan que los únicos componentes son 1 o 0 teniendo los siguientes significados: si la componente $X_{mn} = 0$, quiere decir que el producto (m) no es procesado en la máquina o

Tabla 9. Matriz de correlación Producto Vs Máquina - Actividad Manual

PRODUCTO Vs MÁQUINA - ACTIVIDAD																	
PRODUCTOS	CLASIFICACIÓN	FAMILIA	BALANCEO MP	SELECCIÓN MANUAL	TAMIZ VIBRATORIO	PELADO MANUAL	PICADOR	MEZCLADO MANUAL	MOLINO DE DISCO	ARMADA PT	LLENADO MANUAL	GRANERA	SELLADORA DE PEDAL	PERFORADORA	GRABADORA INDUSTRIAL	CODIFICADORA	EMPAQUETADORA ALMACENAR
1. Abadita Carnes	Eterno	Comercializado	1		1						1	1	1	1	1	1	1
2. Azaca	Eterno	Comercializado	1		1						1	1	1	1	1	1	1
3. Acerto	Moldo	Producto Terminado							1	1	1	1	1	1	1	1	1
4. Actiole Eterno	Eterno	Comercializado	1	1	1						1	1	1	1	1	1	1
5. Achote Moldo	Moldo	Producto Terminado			1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
6. Adobo	Moldo	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7. Ajipicame	Líquido	Comercializado	1								1	1	1	1	1	1	1
8. Ajo Eterno	Eterno	Producto Terminado	1	1	1						1	1	1	1	1	1	1
9. Ajo Moldo	Moldo	Producto Terminado	1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
10. Alendras	Eterno	Comercializado	1		1						1	1	1	1	1	1	1
11. Anís Esfrelado	Eterno	Comercializado	1	1	1						1	1	1	1	1	1	1
12. Azafrán (Actiole)	Moldo	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13. Azafrán (Act)	Moldo	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14. Bicarbonato	Moldo	Comercializado	1							1	1	1	1	1	1	1	1
15. Bollo	Eterno	Comercializado	1								1	1	1	1	1	1	1
16. Canela	Eterno	Comercializado	1								1	1	1	1	1	1	1
17. Canela en Astilla	Eterno	Comercializado	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1
18. Canela Molida	Moldo	Producto Terminado	1	1	1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
19. Cusneles Pasas	Eterno	Comercializado	1								1	1	1	1	1	1	1
20. Clavo de Olor Eterno	Eterno	Comercializado	1	1	1						1	1	1	1	1	1	1
21. Clavo de Olor Moldo	Moldo	Producto Terminado	1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
22. Coco Rallado Natural Deshidratado	Picado	Producto Terminado	1		1		1				1	1	1	1	1	1	1
23. Comino Eterno	Eterno	Comercializado	1		1						1	1	1	1	1	1	1
24. Comino Moldo	Moldo	Producto Terminado	1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
25. Curry Moldo	Moldo	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26. Guasca	Picado	Producto Terminado		1	1		1				1	1	1	1	1	1	1
27. Laurel Eterno	Eterno	Comercializado	1		1						1	1	1	1	1	1	1
28. Laurel Moldo	Moldo	Producto Terminado	1						1	1	1	1	1	1	1	1	1
29. Lineaza Eterna	Eterno	Comercializado	1	1	1						1	1	1	1	1	1	1
30. Lineaza Molida	Moldo	Producto Terminado	1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
31. Manzana	Eterno	Comercializado	1								1	1	1	1	1	1	1
32. Miel	Líquido	Comercializado	1								1	1	1	1	1	1	1
33. Mostaza Eterna	Eterno	Comercializado	1		1						1	1	1	1	1	1	1
34. Mostaza Líquida	Líquido	Comercializado	1								1	1	1	1	1	1	1
35. Nuez Moscada Eterna	Eterno	Comercializado	1	1	1						1	1	1	1	1	1	1
36. Nuez Moscada Molida	Moldo	Producto Terminado	1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
37. Orégano Eterno	Eterno	Comercializado	1	1	1					1	1	1	1	1	1	1	1
38. Orégano Moldo	Moldo	Producto Terminado	1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
39. Pimenta Eterna	Eterno	Comercializado	1	1	1						1	1	1	1	1	1	1
40. Pimenta Molida	Moldo	Producto Terminado	1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
41. Polvo para Hornear	Moldo	Comercializado	1						1	1	1	1	1	1	1	1	1
42. Salsa Negra	Líquido	Comercializado	1								1	1	1	1	1	1	1
43. Tomillo Eterno	Eterno	Comercializado	1	1	1						1	1	1	1	1	1	1
44. Tomillo Moldo	Moldo	Producto Terminado	1		1				1	1	1	1	1	1	1	1	1
45. Trisozin	Moldo	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
46. Uvas pasas	Eterno	Comercializado	1								1	1	1	1	1	1	1
47. Zen	Eterno	Comercializado	1								1	1	1	1	1	1	1
TOTAL			47	6	28	2	2	5	5	12	47	47	47	47	47	47	47

61

a, b, c, d

A partir de la Matriz Producto Vs Máquina – Actividad Manual, se puede determinar una agrupación natural de productos y máquinas – actividades manuales en celdas, mediante la realización de un procedimiento lógico, como el que plantea el Algoritmo de Ordenamiento Binario (AOB), donde la idea principal es ordenar las filas y las columnas de acuerdo a vectores binarios de la misma magnitud, tal como se desarrolla en el Excel “Trabajo de grado.xlsx” en la hoja del libro rotulada como “AOB”, bajo los lineamientos de la metodología propuesta en el punto 3.2.2 de este documento.

De acuerdo a la solución dada en el procedimiento AOB, se requiere un ordenamiento adicional es decir, que se realiza dos iteraciones para ordenar la matriz, en ella se observan grupos naturales de unos, tal como se muestra en la Tabla 10.

De la matriz obtenida, hay algunas formas posibles de identificar el número de familias de productos y de máquinas, obteniendo 6 configuraciones, mostradas en los Anexos 5, 6, 7, 8, 9 y 10. La pregunta es ¿Cuál configuración celular es la mejor? Dicha configuración depende tanto del algoritmo como del proceso, las máquinas, los productos y de la distancia recorrida Inter (entre una célula y otra) e Intra celular (dentro de una misma célula) de los productos.

Fuente. Elaboración propia.

63

Para ello, un número de criterios pueden ser usados para decidir sobre la configuración óptima de células, por ejemplo, un criterio de distancia recorrida en el manejo de materiales Intra e Inter, es particularmente relevante si las partes tienen un número de operaciones que requieran realizar en un número de máquinas determinadas, influyendo 3 factores:

1. La distribución de las máquinas dentro de un grupo
2. La distribución de los grupos de máquinas,
3. El flujo de proceso de cada producto

Por ende la distancia total recorrida por un producto que visita un determinado número de máquinas en las células debe ser determinada. Según Miranda³⁴, la distancia total esperada, puede ser hallada de acuerdo a la distribución de las máquinas dentro de la célula como sigue:

- Distancia esperada para una distribución en línea recta: $MT * \frac{(N+1)}{3}$

Distancia en la que un producto se mueve entre las máquinas de una célula que tenga un grupo de N máquinas totales multiplicadas por el número de movimientos totales. Donde este es el número de veces que un producto pasa de un proceso a otro.

- Distancia esperada para una distribución rectangular con M renglones de L máquinas: $\frac{M+L}{3}$
- Distancia esperada para una distribución cuadrada: $\frac{(N+1)}{3}$

La mejor configuración está dada por el mínimo de recorridos totales independientemente de la distribución seleccionada. Para este caso puntual se escoge la mejor configuración de acuerdo a la ecuación de la distribución en línea recta teniendo en cuenta las siguientes observaciones:

1. Para hallar el número de movimientos totales de cada producto, se tiene en cuenta la secuencia de su proceso productivo;

2. Hay una unidad de distancia entre cada máquina en un grupo de N máquinas ya sea Intra o Inter celular;
3. Una parte puede visitar 2 o más máquinas en un grupo de N máquinas;
4. La ecuación de distancia de línea recta solo es utilizada para los movimientos intracelulares;

Para aclarar los procedimientos se ilustran los cálculos para la opción 1 conformada por 5 células (Anexo 5), con el fin de visualizar el procedimiento de evaluación de manejo de productos Inter e Intra celular. Donde la distancia recorrida Inter e Intra celular de un producto hace alusión a la distancia que recorre un producto entre máquinas, asumiéndose como un metro (1 m.t.) entre una máquina y otra, no se toman distancias reales debido a que en esta etapa no se conoce la posición física donde quedará la máquina solo se conoce la secuencia de operaciones, por lo cual, se miden las distancias de acuerdo a la secuencia llevada por cada una de las opciones de las matrices AOB basándose en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 15.

El Movimiento intercelular (movimientos entre dos células) de la opción 1 en la célula 1 se da a partir de la suma de los movimientos entre C12=28 (de la célula 1 a la 2), C13=8, C14=1, C15=0, para un total de 37 movimientos. Ver (Tabla 11).

Tabla 11. Movimiento intercelular para la opción 1.

NÚMERO DE MOVIMIENTOS INTERCELULARES						
N° TOTAL DE CONFIGURACIONES	CÉLULAS					TOTAL
	1	2	3	4	5	
Opción 1 (5 células)	37	28	19	2	5	91

Fuente. Elaboración propia.

Para hallar el movimiento intracelular (dentro de la misma célula) de la configuración 5 de la célula 1, se debe tener en cuenta el flujo de proceso de cada producto (Figura 14). Para los movimientos de la célula 1 donde los productos no pasan por otra célula se tiene en cuenta el movimiento del balanzón MP a las otras máquinas o actividades dentro de la misma célula, en comparación con los productos que si pasan.

La distancia intracelular dentro de cada célula está dada por:

$$DMT_{cx} = \sum_{1}^m (m * y)$$

Donde;

(X), célula a la cual se le contarán los movimientos intracelulares.

(m) es el número total de productos,

(y) el número total de movimientos dentro de la célula.

Por ende, para la célula 1, de la opción 1 tenemos:

$$DMT_{C1}=(37*6)+(10*7)=292$$

Para la célula 2 de la opción 1 tenemos:

$$DMT_{C2}=(6*1)+(2*1)=8$$

El mismo procedimiento se realiza para las demás células de la opción 1 (Tabla 12)

Tabla 12. Movimientos intracelulares para la opción 1

NÚMERO DE MOVIMIENTOS INTRACELULARES						
N° TOTAL DE CONFIGURACIONES	CÉLULAS					TOTAL
	1	2	3	4	5	
Opción 1 (5 células)	292	8	12	0	5	317

Fuente. Elaboración propia.

Una vez hallados los movimientos intracelulares dentro de una misma célula, se aplica la ecuación de línea recta, de la siguiente manera:

$$DC_x=MT \frac{(N+1)}{3}$$

Donde;

(X) es la célula a solucionar,

(MT) el número total de movimientos dentro de la célula (X),

(N) el número total de máquinas dentro de la célula (X).

Obteniendo para la célula 1 de la opción 1 el siguiente resultado:

$$DC_1 = (37 \cdot 6) \cdot \frac{(7+1)}{3} + (10 \cdot 7) \cdot \frac{(8+1)}{3} = 802,0$$

Y para la célula 2 de la opción 1:

$$DC_2 = (6 \cdot 1) \cdot \frac{(3+1)}{3} + (2 \cdot 1) \cdot \frac{(3+1)}{3} = 10,7$$

Tabla 13. Distancia total intracelular para la opción 1.

DISTANCIA TOTAL INTRACELULAR PARA LA OPCIÓN 1						
N° TOTAL DE CONFIGURACIONES	CÉLULAS					TOTAL
	1	2	3	4	5	
Opción 1 (5 células)	802,0	10,7	12,0	0,0	5,0	829,7

Fuente. Elaboración propia.

Para calcular los movimientos intra e inter celular de las demás células en las diferentes configuraciones, se realizan los procedimientos anteriormente mencionados, obteniendo los siguientes resultados (Tabla 14,15 y 16):

Distancia total intercelular para las 6 opciones de formación de células:

Tabla 14. Distancia total intercelular.

DISTANCIA TOTAL INTERCELULAR						
N° TOTAL DE CONFIGURACIONES	CÉLULAS					TOTAL
	1	2	3	4	5	
Opción 1 (5 células)	37	28	19	2	5	91
Opción 2 (4 células)	37	28	2	19		86
Opción 3A (3 células)	37	29	19			85
Opción 3B (3 células)	27	9	19			55
Opción 4 (2 células)	27	27				54
Opción 5 (1 células)	0					0

Fuente. Elaboración propia.

Número de movimientos intracelulares para las 6 opciones de formación de células:

Tabla 15. Número de movimientos intracelulares.

NÚMERO DE MOVIMIENTOS INTRACELULARES						
N° TOTAL DE CONFIGURACIONES	CÉLULAS					TOTAL
	1	2	3	4	5	
Opción 1 (5 células)	292	8	12	0	5	317
Opción 2 (4 células)	292	8	0	22		322
Opción 3A (3 células)	292	9	22			323
Opción 3B (3 células)	330	1	22			353
Opción 4 (2 células)	330	24				354
Opción 5 (1 células)	408					408

Fuente. Elaboración propia.

Distancia total intracelular para las 6 opciones de formación de células:

Tabla 16. Distancia total intracelular.

DISTANCIA TOTAL INTRACELULAR PARA UNA DISTRIBUCIÓN EN LÍNEA RECTA						
N° TOTAL DE CONFIGURACIONES	CÉLULAS					TOTAL
	1	2	3	4	5	
Opción 1 (5 células)	802,0	10,7	12,0	0,0	5,0	829,7
Opción 2 (4 células)	802,0	10,7	0,0	36,7		849,3
Opción 3A (3 células)	802,0	15,0	36,7			853,7
Opción 3B (3 células)	141,3	1,3	36,7			179,3
Opción 4 (2 células)	141,3	64,0				205,3
Opción 5 (1 células)	2312,0					2312,0

Fuente. Elaboración propia.

Según la metodología aplicada para obtener la configuración de células que mejor se ajusta al caso de estudio, es la configuración 3B con el menor número de movimientos Intra e Inter celular, tal como se muestra en la Tabla 17.

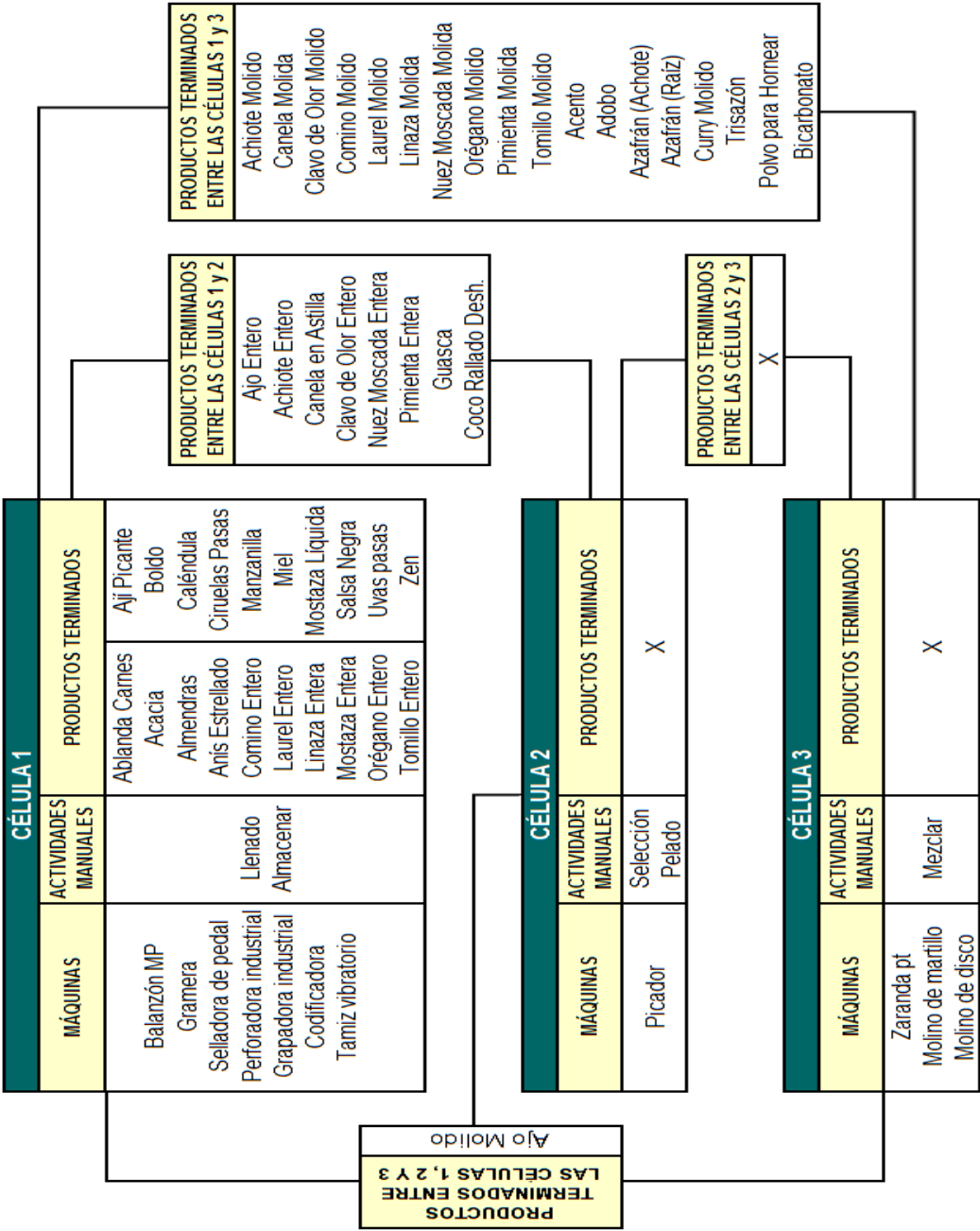
Tabla 17. Resumen de resultados.

Nº TOTAL DE CONFIGURACIONES	Nº DE MOVIMIENTOS INTRA	Nº DE MOVIMIENTOS INTER	TOTAL DE MOVIMIENTOS
Opción 1 (5 células)	829,7	91	1011,7
Opción 2 (4 células)	849,3	86	1021,3
Opción 3A (3 células)	853,7	85	1023,7
Opción 3B (3 células)	179,3	55	289,3
Opción 4 (2 células)	205,3	54	313,3
Opción 5 (1 células)	2312,0	0	2312,0
DISTRIBUCION MÍNIMA ESCOGIDA			289,3

Fuente. Elaboración propia.

La Figura 16 y el anexo 8, muestran la distribución de la solución planteada de la opción 3B, en éstas se observan 3 grupos naturales de células de manufactura y su conformación, adicionalmente se evidencia que la célula 1 es la única capaz de fabricar un producto en su totalidad y sirve de apoyo para terminar el proceso productivo de los productos que visitan las dos células restantes, lo cual confirma que hay productos que no requieren de otras células para su transformación como aquellos que pertenecen a la célula 1, mientras que hay otros que si requieren del intercambio de materiales entre células como pasa para C1 y C2, C1 y C3 o como el ajo molido que requiere pasar por las tres células. Dicha conformación tiene como objetivo disminuir el número de intercambio de partes, las distancias recorridas por estos y el tiempo en proceso.

Figura 16. Resultado AOB para la formación de células de trabajo (Opción 3B)



Fuente. Elaboración propia.

4.4 DISEÑO DEL ESPACIO FÍSICO

4.4.1 Diagnóstico inicial de la distribución actual de Condisazón

Actualmente la empresa cuenta con 13 áreas descritas en el apartado anterior, donde se evidencia que las áreas de almacenamiento están divididas en tres de acuerdo al tipo de producto, sin embargo dicha acción se realiza más que todo para llenar los espacios vacíos y no por un tema de inocuidad, por ende, se propone juntar las áreas de almacenamiento formando una sola, al igual se propone con el área de producción, la cual se encuentra dividida de la misma manera, con el objetivo de darle un buen uso al espacio, mejorar las relaciones entre procesos y disminuir los recorridos del material en tránsito.

Por otro lado, en algunas áreas se suelen guardar máquinas mientras no estén en uso o no se requieran para el proceso productivo, tales como las grameras, la codificadora, las selladoras de pedal y las grapadoras, lo cual provoca tiempos muertos en alistamiento, además el área de etiquetado no funciona como un área de acondicionamiento para la presentación del producto final sino como un área de almacenamiento de insumos de etiquetas, materia prima que puede ser almacenada perfectamente en la bodega y dejar éste espacio libre para dicho proceso con las máquinas ubicadas de manera estática y no cada vez que se requieran.

4.4.2 Distribución de planta

De acuerdo al planteamiento anterior, se precisa necesario realizar y proponer una distribución de la planta total diferente a la actual, para ello se hace uso del método SLP (Systematic Layout Schedule), con el fin de darle un mejor uso al espacio y una adecuada distribución al área de trabajo, facilitando la formación y distribución de las células en el área de producción.

Para el desarrollo de la metodología se tienen algunas consideraciones en cuanto a la reubicación del baño ya que éste de alguna u otra manera está ubicado estáticamente y resulta costoso su traslado a otro lugar de la planta, por tal motivo no se tiene en cuenta para el desarrollo de la metodología, al igual que el espacio vacío que está ubicado detrás de él, estos solo se tienen en cuenta para la reubicación de cada uno de los departamentos en el plano en el diagrama espacial. Como se dijo anteriormente en la descripción de la planta algunas áreas fueron unificadas quedando 7 departamentos: oficina (OF), Vestier (VT), producción (PR), bodega (BO), acondicionamiento y empaque (A y E), recepción y despacho (R y D) y desperdicios (DP), siendo éstas las áreas que entrarían en la redistribución, su área total fue calculada en metros cuadrados y la de la planta

total se consideró sin los espacios ocupados por las paredes, dando un espacio libre aproximadamente de 187.08 m² para la redistribución de 203.4 que tiene en total, estos cálculos (Tabla 18) fueron realizados a partir de las medidas de cada área expuestas en el anexo 11.

Tabla 18. Área (M²) de los departamentos de planta.

N°	DEPARTAMENTOS	ÁREA (m ²)	BLOQUES
1	Oficina (OF)	9,7344	10
2	Vestier (VT)	3,24	3
3	Producción (PR)	67,0848	67
4	Bodega (BO)	63,5846	64
5	Acondicionamiento y empaque (A y E)	6,0976	6
6	Recepción y despacho (R y D)	27,3804	27
7	Desperdicios (DP)	4,872	5
8	Baño (BÑ)	3,808	4
9	Espacio vacío (EV)	1,2804	1
TOTAL		187,0822	187

Fuente. Elaboración propia.

El método SLP está dividido en tres etapas, para las cuales se obtuvo:

1. Diagrama relacional de actividades:

A partir del uso de la figura 9, medición del grado de acercamiento entre actividades, se estableció el grado de cercanía que hay entre departamentos mediante una matriz o un diagrama relacional de actividades de acuerdo a las necesidades que tiene cada uno de estos para con los otros (Tabla 19) y la razón por la cual se presenta dicho acercamiento (Tabla 20).

Tabla 19. Cercanía entre departamentos

CERCANÍA ENTRE DEPARTAMENTOS									
Nº	DEPARTAMENTOS		OF	VT	PR	BO	A y E	R y D	DP
1	Oficina	OF	-	U	E	I	U	E	X
2	Vestier	VT		-	E	U	U	U	X
3	Producción	PR			-	A	A	U	A
4	Bodega	BO				-	A	A	X
5	Acondicionamiento y empaque	A y E					-	U	E
6	Recepción y despacho	R y D						-	X
7	Desperdicios	DP							-

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 20. Razón de la cercanía entre departamentos

RAZÓN DE CERCANÍA									
Nº	DEPARTAMENTOS		OF	VT	PR	BO	A y E	R y D	DP
1	Oficina	OF	-	0	4	4	0	4	7
2	Vestier	VT		-	1	0	0	0	7
3	Producción	PR			-	1	1	0	1
4	Bodega	BO				-	1	4	7
5	Acondicionamiento y empaque	A y E					-	0	1
6	Recepción y despacho	R y D						-	7
7	Desperdicios	DP							-

Fuente. Elaboración propia.

NOTA: La relación de cercanía entre los departamentos que tienen una relación insignificante es igual a 0.

2. Diagrama relacional de recorridos:

Una vez establecida la cercanía entre los departamentos se evalúa el grado de intensidad de la relación entre estos, mediante el uso del diagrama de hilos, simulando mediante un número de líneas (Figura 10) dicha relación.

En la tabla 21, se establece mediante números del -1 al 4 el número de hilos que habrá entre las áreas, aunque puede haber casos donde no haya ninguna relación como aquellos donde la cercanía es insignificante (U) valorándose en 0, para los casos donde la relación es evaluada como -1 es porque su relación es no deseable y por ende se debe señalar con un hilo de otro color o una línea punteado, tal como se muestra en la Figura 10, dicha figura sirve como partida para realizar el grafo de hilo resultante (Figura 16).

Tabla 21. Grado de la intensidad de cercanía entre departamentos

RELACIÓN ENTRE DEPARTAMENTOS										TOTAL	VALOR TOTAL
Nº	DEPARTAMENTOS		OF	VT	PR	BO	A y E	R y D	DP		
1	Oficina	OF	-	0	3	2	0	3	-1	7	7
2	Vestier	VT		-	3	0	0	0	-1	2	2
3	Producción	PR			-	4	4	0	4	12	18
4	Bodega	BO				-	4	4	-1	7	13
5	Acondicionamiento y empaque	A y E					-	0	3	3	11
6	Recepción y despacho	R y D						-	-1	-1	6
7	Desperdicios	DP							-	0	3
TOTAL			0	0	6	6	8	7	3		

Fuente. Elaboración propia.

Para la ejecución del grafo se acomodan los departamentos o nodos de acuerdo al valor total obtenido de mayor a menor (Tabla 22), con el fin de saber cuáles son los departamentos que más se relacionan con las demás áreas y de acuerdo a ésta se organizan en el diagrama de hilos.

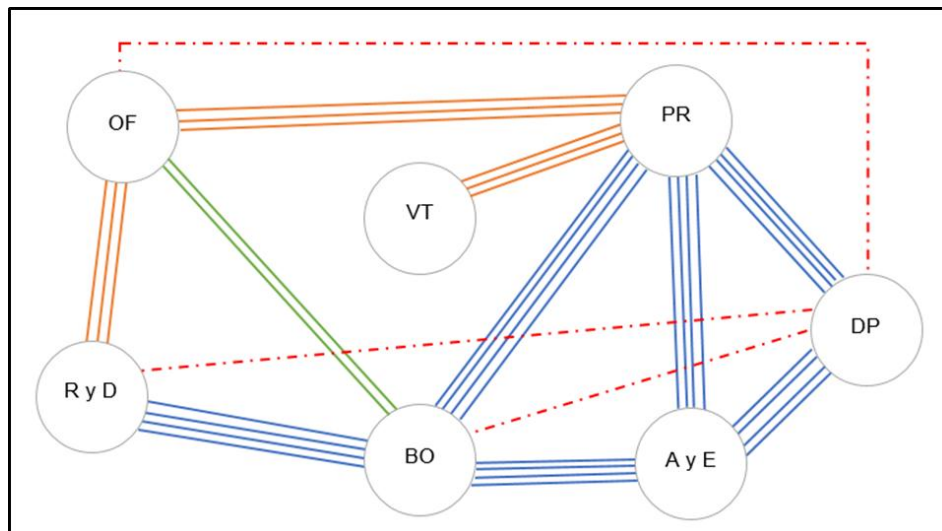
En el diagrama de hilos propuesto (Figura 17), se observa que el área de producción es la que mayor relación tiene con las demás y esto se debe a que es el motor de la empresa ubicándose como un proceso misional, las áreas más cercanas a ésta son acondicionamiento y empaque, bodega y desechos relacionadas con cuatro líneas de color azul, a su vez bodega tiene una alta relación con el área de recepción y despacho debido a la estrecha comunicación que hay entre éstas, mientras la oficina y el Vestier son las áreas con menor relación.

Tabla 22. Departamentos con mayor grado de relación

NODOS	VALOR TOTAL DE CERCANÍA
Producción	18
Bodega	13
Acondicionamiento y empaque	11
Oficina	7
Recepción y despacho	6
Desperdicios	3
Vestier	2

Fuente. Elaboración propia.

Figura 17. Diagrama de hilos propuesto



Fuente. Elaboración propia.

3. Diagrama relacional de espacios:

Con base al diagrama de hilos se trata de ubicar en el plano real de la empresa los departamentos respetando el área que ocupan, la cual se asemeja con cuadros o bloques (Tabla 23), además solo se tiene en cuenta el área total de trabajo sin el

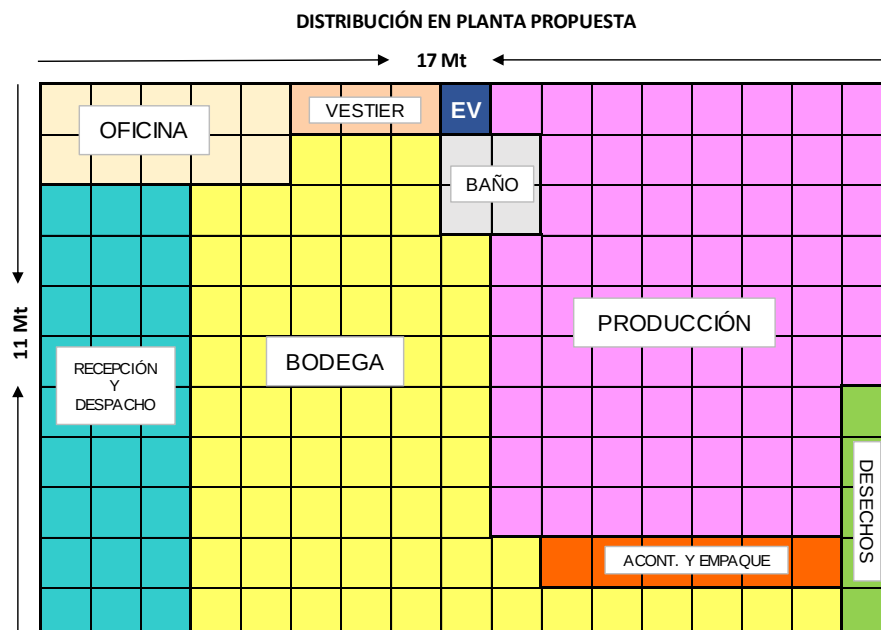
área ocupada por paredes y puertas, donde se tiene que el área total es de 203,4 m² (11,3 mt * 18 mt) y sin estas 187,0822 (sumatoria de áreas). Por último, para la distribución de espacio se tiene en cuenta el baño y el espacio vacío detrás de él, ya que hacen parte del plano. Ver Figura 18.

Tabla 23. Cantidad de bloques ocupados por cada área dentro del plano de Condisazón

DEPARTAMENTOS	BLOQUES
Producción	67
Bodega	64
Acondicionamiento y empaque	6
Oficina	10
Recepción y despacho	27
Desperdicios	5
Vestier	3
Baño	4
Espacio vacío	1

Fuente. Elaboración propia.

Figura 18. Distribución de espacios

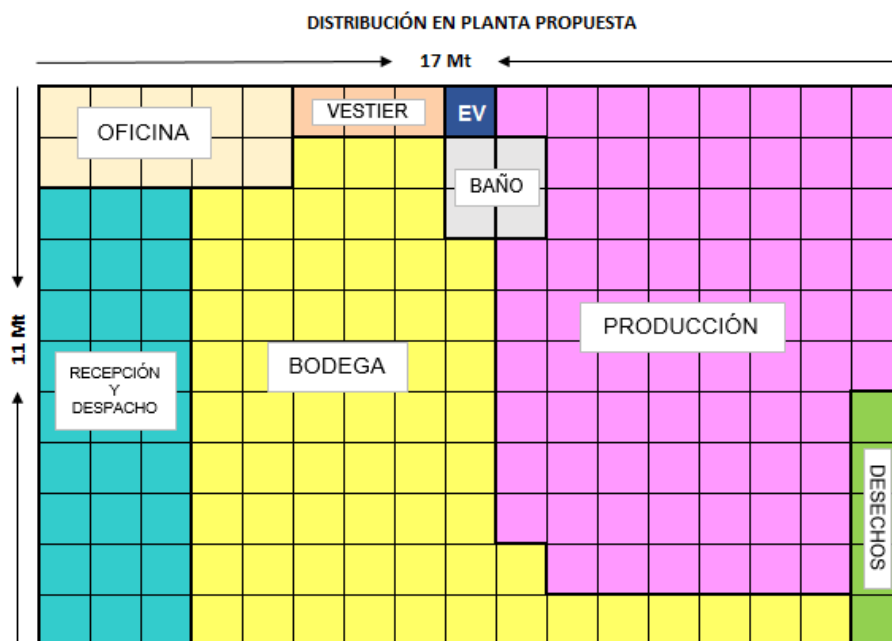


Fuente. Elaboración propia.

4.4.3 Distribución del área de producción

Para la distribución de las células en el área de producción se tiene en cuenta el área total de ésta más el área de acondicionamiento y empaque, es decir, que el área de producción quedaría y el área de acondicionamiento y empaque desaparecería (Figura 19), debido a que en estos dos departamentos se realizan los productos completamente. Sin embargo, para dicha distribución es necesario hallar la superficie requerida por cada máquina para su respectiva ubicación (Tabla 24) al igual que la superficie necesaria para la operación de las actividades manuales. Para ello se hace uso del Método de Guerchet, el cual tiene en cuenta la superficie estática de la máquina o área, la superficie gravitacional, es decir el espacio que requieren los operarios para manipular las máquinas y la materia prima necesaria y la superficie evolutiva que considera los pasillos por los cuales hay tránsito de personal y de mercancía, con el fin de que no se presenten accidentes y haya un adecuado flujo de materiales.

Figura 19. Distribución de espacios propuesta.



Fuete. Elaboración propia.

Tabla 24. Superficie requerida para ubicar las máquinas.

MÁQUINA					COEFICIENTE (k)		1,5		
					SUPERFICIE				
TIPO	CANT.	ANCHO (mt)	LARGO (mt)	NÚMERO DE LADOS (N)	ESTÁTICA (Se)	GRAVITACIÓN (Sg)	EVOLUCIÓN (Sv)	TOTAL (St)	TOTAL (St)*N. DE MÁQUINAS
Balanzón	1	0,6	0,8	3	0,48	1,44	2,88	4,80	4,80
Picador	1	0,83	1,2	1	1,00	1,00	2,99	4,98	4,98
Tamiz vibratorio	1	0,71	1,12	4	0,80	3,18	5,96	9,94	9,94
Molino de disco	2	0,6	0,72	1	0,43	0,43	1,30	2,16	4,32
Molino de martillo	1	0,6	0,8	3	0,48	1,44	2,88	4,80	4,80
Zaranda	1	1,1	1,45	4	1,60	6,38	11,96	19,94	19,94
Gramera	3	0,3	0,3	1	0,09	0,09	0,27	0,45	1,35
Selladora de pedal	4	0,5	0,7	1	0,35	0,35	1,05	1,75	7,00
Perforadora	1	0,42	0,55	1	0,23	0,23	0,69	1,16	1,16
Grapadora industrial	3	0,045	0,27	3	0,01	0,04	0,07	0,12	0,36
Codificadora	1	0,3	0,37	1	0,11	0,11	0,33	0,56	0,56
Llenado/Amacenar	1	0,6	0,9	1	0,54	0,54	1,62	2,70	2,70
Selección/Pelado	1	0,6	0,9	1	0,54	0,54	1,62	2,70	2,70
Mezclado	1	0,8	1,2	1	0,96	0,96	2,88	4,80	4,80
ÁREA TOTAL QUE OCUPAN TODAS LAS MÁQUINAS								60,85	69,40

Fuente. Elaboración propia.

Adicionalmente, se realizan algunas consideraciones para el cálculo del área requerida por las actividades manuales, de acuerdo al espacio que se organiza o se desocupa en la planta al momento de su ejecución, con el fin de darles un espacio estático más no estacional como se hace hasta el momento, pues esto genera que se consuma mucho tiempo de alistamiento:

- Las actividades de pelar y seleccionar se realizarán cada una en un espacio de $0,54 \text{ mt}^2$ ($0,6 \text{ mt} * 0,9 \text{ mt}$).
- Las actividades de llenado y almacenar se realizarán cada una en un espacio de $0,54 \text{ mt}^2$ ($0,6 \text{ mt} * 0,9 \text{ mt}$).
- Para la actividad de mezcla se tienen en cuenta el área de la mesa donde se realiza el mezclado $0,96 \text{ mt}^2$ ($0,8 \text{ mt} * 1,2 \text{ mt}$)

El área total ocupada por las máquinas y actividades es $64,15 \text{ mt}^2$

4.4.4 Distribución del sistema de manufactura celular

Las células vinculadas de producción es un sistema de fabricación, el cual está compuesto por dos o más celdas de trabajo, donde las operaciones y los procesos se agrupan en diferentes células de acuerdo a la secuencia de fabricación de un grupo de productos o familia de productos. Según Black y Hunter³⁵ estas celdas de fabricación donde las operaciones son manuales y la línea de producción se componen por varias celdas, tiene una configuración en forma de U, las cuales están diseñadas para procesos que requieren como máximo entre seis a ocho trabajadores y se caracterizan por tener una mayor adaptación a los cambios de producción de distintos productos o en el diseño y características de estos, permite que los trabajadores se muevan de una máquina a otra con una distancia más corta o puedan realizar cualquier otro tipo de operación evitando los movimiento inútiles, es flexible en la asignación de más o menos máquinas/equipos productivos a un trabajador y en introducir o remover trabajadores de la línea dependiendo de la producción, facilita que un trabajador pueda hacerse cargo de una o más tareas que se encuentran inter o intra celular o alternen entre distintas tareas en los puestos de trabajo integrados en una célula según el producto a fabricar.

Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho y de acuerdo a la características de cada uno de los tipos de diseños de distribución de células de manufactura (Figura 2) y las del proceso de producción en base a los diferentes tipos de productos y mano de obra (Tabla 8) del caso de estudio se escoge la configuración en forma de U.

4.4.5 Diseño del sistema de manufactura celular

En el diseño del área de producción con base al tipo de distribución escogido, se propone la realización de diferentes tipos de combinaciones entre las tres células obtenidas mediante el algoritmo de ordenamiento binario (Figura 16) y de acuerdo a la distribución de espacios obtenida mediante el método SLP (Figura 19), la célula 1 solo tendrá 2 tipos de combinaciones en cuanto al lugar dentro del departamento de producción, es decir, está se puede mover en la salida y entrada de la distribución, debido a su estrecha relación con la bodega de almacenamiento y los procesos de inicio y fin del proceso que se encuentran dentro de esta.

- Combinación 1: $c1 \rightarrow c2 \rightarrow c3$
- Combinación 2: $c1 \rightarrow c3 \rightarrow c2$

³⁵ (BLACK, J. Temple; HUNTER, Steve Lean Manufacturing Systems and Cell Design, Society of Manufacturing, 2003. p. 57.)

- Combinación 3: $c1 \rightarrow c2 \rightarrow c3$ (U invertida)
- Combinación 4: $c1 \rightarrow c2 \rightarrow c3$ (U invertida)

La distribución intracelular donde cada una de las células anteriormente mencionados contiene un grupo de máquinas y actividades manuales que se encuentran distribuidas de acuerdo al orden del proceso (Figura15) y configuración de las células (Figura 16), es decir, tienen una secuencia de operación en cada una de las células en base al valor de cercanía que hay entre estas, desarrollado a través del diagrama de relaciones de la máquinas en el Excel “Trabajo de grado.xlsx” en las hojas del libro rotuladas como SLP (Máquinas) y se tiene en cuenta la cantidad de área requerida por cada una de las máquinas dentro cada célula y la cantidad de área de la célula.

La distancia esperada en línea recta calculada en la tabla 12 se hace en base al proceso de producción de cada uno de los productos y se realiza para obtener la mejor configuración de células para las diferentes clasificaciones y familias de productos.

A partir de estas combinaciones se busca obtener el orden de las células en la distribución tipo U que minimice las distancia recorrida en el área de producción en comparación con la distribución inicial, para esto, se utiliza la matriz de origen-destino, una de las técnicas más exactas entre otros métodos utilizados para medir la eficiencia en cuanto a distancias recorridas dentro de las distribuciones, en ésta la secuencia de las operaciones se escriben hacia abajo del lado izquierdo de la hoja, y en la parte superior de ésta. La secuencia vertical de las máquinas y las actividades manuales es el lado de los “orígenes” de la matriz, la secuencia horizontal son los “destinos” de la matriz y todo se mueve de un lugar de origen a otro de destino. Cada vez que se requiere de un movimiento se coloca el valor ponderado de la coordenada en cuestión. Para hallar este valor se emplea el método del centroide y para la aplicación de este, se ubican las áreas de las máquinas-actividades que tienen una forma regular (cuadrada, rectangular) e irregular (compuesta) en un sistema de coordenadas (X_i , Y_i), a través de un plano cartesiano, el cual nos representa el punto promedio representativo de la posición.

Para realizar el cálculo del centroide de un área irregular, es decir, de un área compuesta por una serie de figuras comunes (rectángulo, cuadrado, triángulo) se realiza el siguiente procedimiento:

1. Dividir el área en figuras comunes,
2. Hallar el centroide para cada una de las figuras,
3. Hallar el área de cada una de las figuras,
4. Multiplicar cada componente (X_i, Y_i) por el área de las figuras,

5. Sumatoria de forma independiente para cada componente (Xi,Yi) de los resultados obtenidos en el paso anterior,
6. Sumatoria de las áreas,
7. Dividir las sumatorias de Xi y Yi entre la sumatoria del área, como se muestra a continuación:

$$X_i = \frac{\sum x_i \cdot a_i}{A_{\text{total}}} \quad Y_i = \frac{\sum y_i \cdot a_i}{A_{\text{total}}}$$

A partir de la obtención de las coordenadas con el centroide, se procede a hallar las con la matriz origen-destino la distancia entre las máquinas, donde:

$$d = va \cdot (x_1 - x_2) + va \cdot (y_1 - y_2)$$

- d= distancia entre máquinas,
- va= valor absoluto,

Luego, nuevamente con el uso de la matriz origen-destino y con la relación de cercanía entre las máquinas (Anexo 12), se procede a hallar la distancia total recorrida dentro del área de producción.

Desarrollar esta alternativa, requiere del apoyo de las relaciones que tiene cada máquina o actividad manual dentro del proceso, para esto, se tiene en cuenta la cercanía entre las máquinas (Anexo 12) obtenida en base a la cantidad de flujo y a la comunicación estrecha entre estas y de las condiciones actuales en manera de distribución dentro de la planta y ubicación de las máquinas (Figura 13),(Tabla 3) al igual que la superficie estática de las máquinas-actividades (Tabla 24) y la superficie total que se requiere para las máquinas obtenida con el método de Guerchet (Tabla 24). Teniendo en cuenta esto, se calculan los centroides (Tabla 25) de cada una de las máquinas, la distancia recorrida entre estas (Figura 20) y la distancia recorrida total para la distribución inicial. (Figura 21)

Tabla 25. Centroide de máquinas/actividades de la distribución inicial

MÁQUINAS/ACTIVIDAD MANUAL			CENTROIDE	
Máquinas		No. De Proceso	Xi	Yi
Balanzón MP	BA	1	5,5	10
Gramera	GR	4	11,25	6,75
Selladora de pedal	SE	5	11	4,75
Perforadora industrial	PE	7	16,75	5,75
Grapadora industrial	GI	6	15,75	5,75
Codificadora	CO	8	12,25	7,75
Tamiz vibratorio	TA	2	7	10
Llenado	LL	3	11	6,75

Almacenado	A	3	11	6,75
Picado	PI	10	14,5	7,5
Selección	SL	9	12,5	6,75
Pelado	PL	9	12,5	6,75
Zaranda pt	ZA	14	5	8,5
Molino de martillo	MM	12	15,5	3,75
Molino de disco	MD	13	16,75	2,5
Mezclado	ME	11	14,5	1,5

Fuente. Elaboración propia.

Figura 20. Distancia entre máquinas-distribución inicial

DISTANCIA ENTRE CENTROIDES	DISTANCIA ENTRE LAS MÁQUINAS															
	BA	SL	PL	PI	ME	TA	MD	MM	ZA	LL	GR	SE	PE	GI	CO	A
BA	0	10	10	12	18	2	19	16	2	9	9	11	16	15	9	9
SL	10	0	0	3	7	9	9	6	9	2	1	4	5	4	1	5
PL	10	0	0	3	7	9	9	6	9	2	1	4	5	4	1	2
PI	12	3	3	0	6	10	7	5	11	4	4	6	4	3	3	4
ME	18	7	7	6	0	16	3	3	17	9	9	7	7	6	9	9
TA	2	9	9	10	16	0	17	15	4	7	8	9	14	13	8	7
MD	19	9	9	7	3	17	0	3	18	10	10	8	3	4	10	10
MM	16	6	6	5	3	15	3	0	15	8	7	6	3	2	7	8
ZA	2	9	9	11	17	4	18	15	0	8	8	10	15	14	8	8
LL	9	2	2	4	9	7	10	8	8	0	0	2	7	6	2	0
GR	9	1	1	4	9	8	10	7	8	0	0	2	7	6	2	0
SE	11	4	6	6	7	9	8	6	10	2	2	0	7	6	4	2
PE	16	5	5	4	7	14	3	3	15	7	7	7	0	1	7	7
GI	15	4	4	2	6	13	4	2	14	6	6	6	1	0	6	6
CO	9	1	1	3	9	8	10	7	8	2	2	4	7	6	0	2
A	9	2	2	4	9	7	10	8	8	0	0	2	7	6	2	0

Fuente. Elaboración propia.

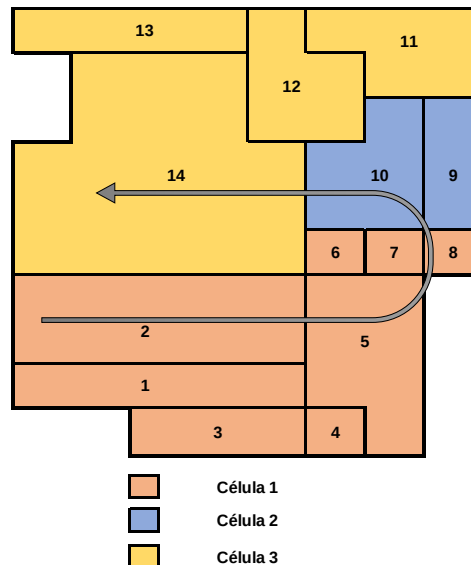
Figura 21. Distancia recorrida en el proceso de producción

DISTANCIA TOTAL RECORRIDA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN																	
NODOS	BA	SL	PL	PI	ME	TA	MD	MM	ZA	LL	GR	SE	PE	GI	CO	A	TOTAL
BA	0	20,5	20,5	0	0	0	0	0	0	17,5	9	10,75	31	0	9	8,75	127
SL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	1,25	3,5	0	0	2,5	0	10,25
PL	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	3,5	0	0	0	3	17,5
PI	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
ME	0	0	0	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64
TA	0	0	0	0	0	0	69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69
MD	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
MM	0	0	0	0	0	0	0	0	61	0	0	0	0	0	0	0	61
ZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0	0	0	0	0	0,25
GR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
GI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,5	11,5
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,5	4,5
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DISTANCIA TOTAL RECORRIDA																	403

Fuente. Elaboración propia.

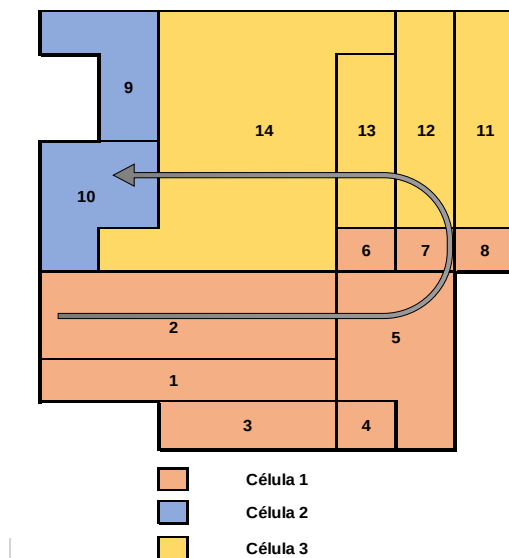
De igual manera se realiza el mismo proceso para cada una de las combinaciones propuestas (Figura 22, 23, 24 y 25), desarrolladas en el Excel “Trabajo de grado.xlsx” en las hojas del libro rotuladas como Matriz O-D D.P (Máquinas) 1, Matriz O-D D.P (Máquinas) 2, Matriz O-D D.P (Máquinas) 3, Matriz O-D D.P (Máquinas) 4.

Figura 22. Diseño de distribución-propuesta 1



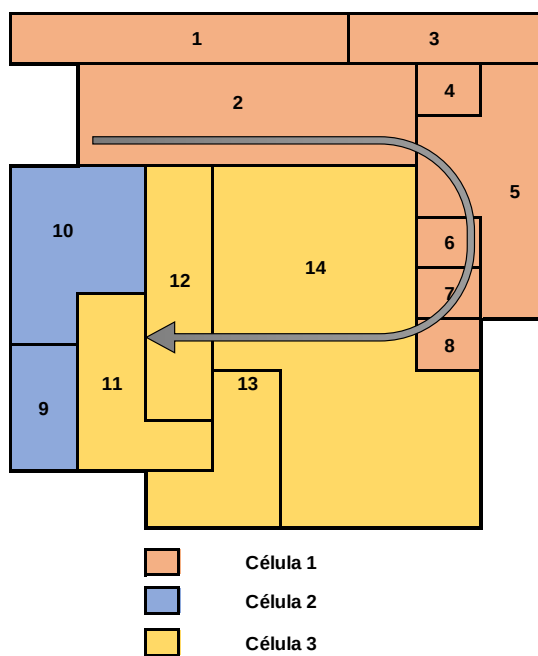
Fuente. Elaboración propia.

Figura 23. Diseño de distribución-propuesta 2



Fuente. Elaboración propia.

Figura 24. Diseño de distribución-propuesta 3



Fuente. Elaboración propia.

Según la metodología aplicada para obtener el orden de las células dentro del departamento de producción que mejor se ajusta al caso de estudio y minimiza las distancias recorridas, es la propuesta 4 (Tabla 26) con un porcentaje de mejora del 31% en comparación con la distribución inicial iniciando el proceso de fabricación en la célula 1, seguido de la célula 2 y la célula 3 con la menor distancia en comparación con la distribución inicial y las demás propuestas, permitiendo reducir a su vez en el número de movimientos que deben realizar los operarios dentro de las células y fuera de estas.

DISTANCIA INICIAL 403 METROS

DISTRIBUCIÓN		DISTANCIA TOTAL (m)	I =DISTANCIA INICIAL - DISTANCIA PROPUESTA (% DE MEJORA)	% DE MEJORA
PROPUESTA 1		301,3	101,7	25%
PROPUESTA 2		339,7	63,3	16%
PROPUESTA 3		321,4	81,6	20%

PROPUESTA 4	276,8	126,2	31%
--------------------	--------------	--------------	------------

Fuente. Elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

Con la realización del estudio de distribución en planta de una empresa manufacturera bajo el enfoque de células de manufactura, se consiguió proponer alternativas de distribución de la planta y del área de producción que respondieran al logro de una distribución eficiente, ordenada y económica.

Condisazón cuenta con una distribución actual dispersa, con cuatro áreas de almacenamiento para materia prima de productos molidos y enteros, producto terminado e insumos para etiquetas y varias áreas de producción alejadas una de otras con muy poca continuidad, debido a que las máquinas no se encuentran ubicadas en un lugar específico sino que son guardadas mientras se requiere su uso, problemática generada por el mal uso de los espacios, por tal motivo se realiza una nueva distribución de la planta mediante el uso del método SLP, con el fin de mejorar el flujo del proceso productivo y la relación entre áreas y a partir de ésta distribuir el área de producción en base al área de las máquinas y actividades manuales.

El Algoritmo de Ordenamiento Binario (AOB) utilizado para la formación y agrupación de células de manufactura resulta ser una alternativa fácil y rápida para el agrupamiento de productos con características similares, sin embargo presenta algunas falencias al momento de generar la formación más adecuada de grupos de productos procesados en las mismas máquinas, pues genera una cantidad considerable de opciones para dicha formación, debido a que éste método solo busca ubicar en la misma zona de la matriz los vectores binarios con la misma magnitud, más no se enfoca en minimizar los intercambios de materiales entre las células generadas, razón por la cual se hace necesario apoyar la metodología con la aplicación de un criterio que minimice el total de movimientos intra e inter celular teniendo en cuenta el flujo del proceso productivo y a partir de éstos escoger la formación y agrupación celular que mejor se ajuste a los procesos de la empresa. Para el caso de Condisazón la formación y agrupación de células que mejor se ajusta a los procesos es la opción 3B, la cual cuenta con la formación de 3 células de manufactura con intercambio de material entre ellas, donde se tiene que la célula 1 es la única que fabrica totalmente un producto, especialmente aquellos que son de comercialización y no requieren de alguna modificación sino de empaque y acondicionamiento, mientras que las otras dos células tienen acciones puntuales como de selección, pelado y picado para la célula 2 y molienda para la célula 3 para aquellos productos que requieren tener dicha presentación, sirviendo la célula 1 como apoyo final para las demás.

La distribución en planta obtenida es una distribución que permite dar un mejor uso del área ocupada y a través de la relación de cercanía entre departamentos, permite disminuir tiempos y movimientos inútiles dentro del proceso debido a la mayor utilización de espacios libres en almacenamiento de productos terminados y de materias primas. Además de esto y debido a la adecuación locativa del local

que se ajusta a los requisitos del INVIMA, el propietario puede considerar la implementación de esta nueva distribución, teniendo en cuenta que los costos económicos no son altos en cuanto a la nueva ubicación de divisiones (paredes) y organización de las máquinas.

El diseño de la distribución del área de producción está directamente relacionada con el flujo de fabricación de los condimentos, por tal razón su distribución es orientada al proceso, relacionadas con configuraciones de células continuas que minimiza la distancia recorrida por los operarios durante la fabricación de los diferentes tipos de productos.

Por último, la matriz origen-destino integrada con el método de centroide, es una buena herramienta en el cálculo de distancias entre áreas o localidades, que permite a través de diferentes escenarios establecer la mejor relación entre cada uno de los procesos de una empresa manufacturera y aplicado al caso de estudio, la organización de las células obtenida otorga una mayor relación en cada uno de los grupos disminuyendo el número de veces que un operario debe ir de una máquina a otra, teniendo en cuenta que la mitad de los operarios de Condisazón realizan procesos en diferentes células

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de productos	90
Anexo 2. Descripción de maquinaria	93
Anexo 3. Matriz de correlación Producto Vs Proceso	94
Anexo 4. Matriz de correlación Producto Vs Máquina	95
Anexo 5. Configuración de 5 células, opción 1	96
Anexo 6. Configuración de 4 células, opción 2	97
Anexo 7. Configuración de 3 células, opción 3A.....	98
Anexo 8. Configuración de 3 células, opción 3B.....	99
Anexo 9. Configuración de 2 células, opción 4	100
Anexo 10. Configuración de 1 célula, opción 5.....	101
Anexo 11. Medidas de las áreas de Condisazón	102
Anexo 12. Cercanía entre máquinas.....	103
Anexo 13. Distancia recorrida departamento. De producción-propuesta 1	104
Anexo 14. Distancia recorrida departamento. De producción-propuesta 2	104
Anexo 15. Distancia recorrida departamento. De producción-propuesta 3	105
Anexo 16. Distancia recorrida departamento. De producción-propuesta 4	105

Anexo 1. Descripción de productos

PRODUCTOS CONDISAZÓN					
ABLANDA CARNES		ACACIA		ACENTO	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Entero	5g,10g	Entero	7g	Molido	5g,10g
					
ACHIOTE		ADOBO		AJÍ PICANTE	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Molido-Entero	12g	Molido	5g,10g	Líquido	20g,40g,110g
					
AJÓ		ALMENDRAS		ANÍS ESTRELLADO	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Molido-Entero	12g,50g,80g /	Entero	35g	Entero	7g
 					
AZAFRÁN ACHIOTE		AZAFRÁN RAIZ		BICARBONATO	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Molido	12g	Molido	14g	Molido	10g,12g,15g,60g
					

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 1. Continuación

PRODUCTOS CONDISAZÓN					
BOLDO		CALÉNDULA		CANELA EN ASTILLA	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Entero	7g	Entero	7g	Entero	2g,5g,8g,16g
					
CANELA MOLIDA		CIRUELAS PASAS		CLAVO DE OLOR	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Molida	2g,5g,8g,16g	Entero	30g	Molido-Entero	2g,3g,5g
					
COCO DESHIDRATADO		COMINO		CURRY	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Picado	12g-25g-80g	Molido-Entero	3g,4g,5g	Molido	10g,20g
					
GUASCA		LAUREL		LINAZA	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Picado	10g,20g	Molido-Entero	5g,7g	Molido-Entero	10g,12g,30g,125g,250g,500g
					

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 1. Continuación

PRODUCTOS CONDISAZÓN					
MANZANILLA		MIEL		MOSTAZA	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Entero	3g,6g	Líquido	20g,40g	Entera-Líquido	20g
					
NUEZ MOSCADA		ORÉGANO		PIMIENTA	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Molido-Entero	3g,6g	Molido-Entero	5g,7g	Molido-Entero	3g,4g,6g
					
POLVO DE HORNEAR		SALSA NEGRA		TOMILLO	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Molido	6g-12g	Líquido	15g	Molido-Entero	5g,7g
					
TRISAZÓN		UVAS PASAS		ZEN	
Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)	Tipo de producto	Referencias (g)
Molido	12g,20g	Entero	12g,30g,80g	Entero	7g
					

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 2. Descripción de maquinaria

MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS CONDISAZÓN					
BALAZÓN		CODIFICADORA		GRAMERA	
Cantidad = 1	Área = 0,48 m2	Cantidad = 1	Área = 0,11 m2	Cantidad = 3	Área = 0,09 m2
					
GRAPADORA INDUSTRIAL		MOLINO DE DISCO		MOLINO DE MARTILLO	
Cantidad = 3	Área = 0,01 m2	Cantidad = 2	Área = 0,43 m2	Cantidad = 1	Área = 0,48 m2
					
PERFORADORA INDUSTRIAL		PICADOR		SELLADORA DE PEDAL	
Cantidad = 1	Área = 0,23 m2	Cantidad = 1	Área = 1 m2	Cantidad = 4	Área = 0,35 m2
					
TAMIZ VIBRATORIO		ZARANDA			
Cantidad = 1	Área = 0,80 m2	Cantidad = 1	Área = 1,60 m2		
					

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 3. Matriz de correlación Producto Vs Proceso

PRODUCTO Vs PROCESO														
N°	PRODUCTOS	CLASIFICACIÓN	FAMILIA	PESADO MP	SELECCIÓN	PELADO	PICADO	MEZCLA	ZARANDA PC	MOLIENDA	ZARANDA PT	LLENADO	PESADO PT	EMPAQUE Y ALMTO
1	Ablanda Carnes	Entero	Comercializado	1					1			1	1	1
2	Acacia	Entero	Comercializado	1					1			1	1	1
3	Aceto	Molido	Producto Terminado	1						1	1	1	1	1
4	Achote Entero	Entero	Comercializado	1	1				1			1	1	1
5	Achote Molido	Molido	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1
6	Adobo	Molido	Producto Terminado	1				1		1	1	1	1	1
7	AjiPicante	Líquido	Comercializado	1								1	1	1
8	Ajo Entero	Entero	Producto Terminado	1	1	1			a 1			1	1	1
9	Ajo Molido	Molido	Producto Terminado	1		1			1	1	1	1	1	1
10	Almendras	Entero	Comercializado	1					1			1	1	1
11	Anís Esfrelado	Entero	Comercializado	1					1			1	1	1
12	Azafrán(Achote)	Molido	Producto Terminado	1				1		1	1	1	1	1
13	Azafrán(Raíz)	Molido	Producto Terminado	1				1		1	1	1	1	1
14	Bicarbonato	Molido	Comercializado	1						c 1	1	1	1	1
15	Bolito	Entero	Comercializado	1								1	1	1
16	Caléndula	Entero	Comercializado	1								1	1	1
17	Canela en Astilla	Entero	Comercializado	1	1				1			1	1	1
18	Canela Molido	Molido	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1
19	Cruetas Pasas	Entero	Comercializado	1								1	1	1
20	Clavo de Olor Entero	Entero	Comercializado	1	1							1	1	1
21	Clavo de Olor Molido	Molido	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1
22	Coco Rallado Natural Deshidratado	Picado	Producto Terminado	1			1			1	1	1	1	1
23	Comino Entero	Entero	Comercializado	1					1			1	1	1
24	Comino Molido	Molido	Producto Terminado	1						1	1	1	1	1
25	Curry Molido	Molido	Producto Terminado	1				1		1	1	1	1	1
26	Gusca	Picado	Producto Terminado	1			1		b 1			1	1	1
27	Laurel Entero	Entero	Comercializado	1								1	1	1
28	Laurel Molido	Molido	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1
29	Linaza Entera	Entero	Comercializado	1					1			1	1	1
30	Linaza Molido	Molido	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1
31	Marzanilla	Entero	Comercializado	1								1	1	1
32	Miel	Líquido	Comercializado	1								1	1	1
33	Mostaza Entera	Entero	Comercializado	1					1			1	1	1
34	Mostaza Líquida	Líquido	Comercializado	1								1	1	1
35	Nuez Moscada Entera	Entero	Comercializado	1	1				1			1	1	1
36	Nuez Moscada Molido	Molido	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1
37	Orégano Entero	Entero	Comercializado	1					1			1	1	1
38	Orégano Molido	Molido	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1
39	Pimienta Entera	Entero	Comercializado	1	1				1	1	1	1	1	1
40	Pimienta Molido	Molido	Producto Terminado	1						1	1	1	1	1
41	Povo para Hornear	Molido	Comercializado	1							d 1	1	1	1
42	Salsa Negra	Líquido	Comercializado	1								1	1	1
43	Tonillo Entero	Entero	Comercializado	1					1			1	1	1
44	Tonillo Molido	Molido	Producto Terminado	1					1	1	1	1	1	1
45	Tisazón	Molido	Producto Terminado	1				1		1	1	1	1	1
46	Uvas pasas	Entero	Comercializado	1								1	1	1
47	Zen	Entero	Comercializado	1	6	2	2	5	28	17	19	47	47	47
TOTAL				47	6	2	2	5	28	17	19	47	47	47

a, b, El ajo entero y la gusca a pesar de ser productos terminados y no de comercialización se tarizan en el tamiz vibratorio, por sus características físicas y por sanidad.
c, d El bicarbonato y el polvo para hornear a pesar de ser productos de comercialización se tarizan en la Zaranda de producto terminado debido a sus características físicas de polvo y por sanidad.

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 4. Matriz de correlación Producto Vs Máquina

PRODUCTO Vs MÁQUINA														
N°	PRODUCTOS	CLASIFICACIÓN	FAMILIA	BALANZÓN MP	PICADOR	TAMIZ VIBRATORIO	MOLINO DE DISCO	MOLINO DE MARTILLO	ZARANDA	GRAMERA	SELLADORA DE PEDAL	PERFORADOR A	GRAPADORA INDUSTRIAL	CODIFICADOR A
1	Ablanda Carnes	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
2	Acacia	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
3	Acerto	Molido	Producto Terminado	1				1	1	1	1	1	1	1
4	Achote Entero	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
5	Achote Molido	Molido	Producto Terminado	1		1		1	1	1	1	1	1	1
6	Adobo	Molido	Producto Terminado	1			1		1	1	1	1	1	1
7	Aji Picante	Líquido	Comercializado	1						1	1	1	1	1
8	Ajo Entero	Entero	Producto Terminado	1		a 1				1	1	1	1	1
9	Ajo Molido	Molido	Producto Terminado	1		1		1	1	1	1	1	1	1
10	Almendras	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
11	Anís Esfrito	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
12	Azafrán (Achote)	Molido	Producto Terminado	1			1	1	1	1	1	1	1	1
13	Azafrán (Raíz)	Molido	Producto Terminado	1			1		1	1	1	1	1	1
14	Bicarbonato	Molido	Comercializado	1				c 1	1	1	1	1	1	1
15	Boldo	Entero	Comercializado	1						1	1	1	1	1
16	Calendula	Entero	Comercializado	1						1	1	1	1	1
17	Canela en Astilla	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
18	Canela Molido	Molido	Producto Terminado	1				1	1	1	1	1	1	1
19	Cruelas Pasas	Entero	Comercializado	1					1	1	1	1	1	1
20	Ciavo de Olor Entero	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
21	Ciavo de Olor Molido	Molido	Producto Terminado	1		1		1	1	1	1	1	1	1
22	Coco Rallado Natural Deshidratado	Picado	Producto Terminado	1	1				1	1	1	1	1	1
23	Comino Entero	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
24	Comino Molido	Molido	Producto Terminado	1		1		1	1	1	1	1	1	1
25	Cury Molido	Picado	Producto Terminado	1			1		1	1	1	1	1	1
26	Guasca	Entero	Comercializado	1	1	b 1				1	1	1	1	1
27	Laurel Entero	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
28	Laurel Molido	Molido	Producto Terminado	1				1	1	1	1	1	1	1
29	Liraza Entera	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
30	Liraza Molido	Molido	Producto Terminado	1		1		1	1	1	1	1	1	1
31	Marzanilla	Entero	Comercializado	1					1	1	1	1	1	1
32	Miel	Líquido	Comercializado	1						1	1	1	1	1
33	Mostaza Entera	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
34	Mostaza Líquida	Líquido	Comercializado	1						1	1	1	1	1
35	Nuez Moscada Entera	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
36	Nuez Moscada Molido	Molido	Producto Terminado	1			1	1	1	1	1	1	1	1
37	Orégano Entero	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
38	Orégano Molido	Molido	Producto Terminado	1				1	1	1	1	1	1	1
39	Pimienta Entera	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
40	Pimienta Molido	Molido	Producto Terminado	1		1		1	1	1	1	1	1	1
41	Pollo para Hornear	Molido	Comercializado	1				d 1	1	1	1	1	1	1
42	Salsa Negra	Líquido	Comercializado	1					1	1	1	1	1	1
43	Tonillo Entero	Entero	Comercializado	1		1				1	1	1	1	1
44	Tonillo Molido	Molido	Producto Terminado	1		1		1	1	1	1	1	1	1
45	Trisazón	Molido	Producto Terminado	1			1		1	1	1	1	1	1
46	Uvas pasas	Entero	Comercializado	1					1	1	1	1	1	1
47	Zen	Entero	Comercializado	1	2	28	5	12	19	47	47	47	47	47
TOTAL				47	2	28	5	12	19	47	47	47	47	47

a. b. El ajo entero y la guasca a pesar de ser productos terminados y no de comercialización se tamizan en el tamiz vibratorio, por sus características físicas y por sanidad.
c. d. El bicarbonato y el polvo para hornear a pesar de ser productos de comercialización se tamizan en la Zaranda de producto terminado debido a sus características físicas de polvo y por sanidad.

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 5. Configuración de 5 células, opción 1

ALGORITMO DE ORDENAMIENTO BINARIO																		
N°	Máq. (Act. n) Productos (m)	BALANZO MP	LLEADO MANUAL	GRAMERA	SELLADORA DE PEDAL	PERFORADORA	GRAPADORA INDUSTRIAL	CORRIPIADORA	EMPACARY ALMACENAR	TAMIZ VIBRATORIO	SELECCION MANUAL	PELADO MANUAL	ZARANDA PT	MOLINO DE MARTILLO	PICADOR	MEZCLADO MANUAL	MOLINO DESICO	
1	Ajo Ertero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
2	Achote Ertero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
3	Carabá en Asilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
4	Clavo de Olor Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
5	Nuez Moscada Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
6	Pimienta Ertera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
7	Ajo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1				
8	Achote Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
9	Carabá Molida	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
10	Clavo de Olor Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
11	Comino Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1				
12	Laurel Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
13	Unaza Molida	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
14	Nuez Moscada Molida	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
15	Orégano Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
16	Pimienta Molida	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
17	Tomillo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1				
18	Gusca	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1			
19	Albarda Carnes	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1			
20	Acacia	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
21	Almendras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
22	Anís Estrellado	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
23	Comino Ertero	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
24	Laurel Ertero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
25	Unaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
26	Mostaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
27	Orégano Ertero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
28	Tomillo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1				
29	Acento	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1				
30	Adobo	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1			1	1	
31	Azafrán (Achote)	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1			1	1	
32	Azafrán (Raiz)	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1			1	1	
33	Curry Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1			1	1	
34	Trisazón	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1			1	1	
35	Pomo para Homear	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1			1	1	
36	Coco Rallado Nat. Desh.	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1			
37	Bicarbonato	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1					
38	Aji Picante	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
39	Boldo	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
40	Caléndula	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
41	Cruelas Pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
42	Manzanilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
43	Miel	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
44	Mostaza Líquida	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
45	Salsa Negra	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
46	Uvas pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
47	Zen	1	1	1	1	1	1	1	1	1								
TOTAL		47	47	47	47	47	47	47	47	28	6	2	19	12	2	5	5	

CÉLULA 1	CÉLULA 2	CÉLULA 3	CÉLULA 4	CÉLULA 5
----------	----------	----------	----------	----------

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 6. Configuración de 4 células, opción 2

ALGORITMO DE ORDENAMIENTO BINARIO																	
N°	Máq / Act (n) Productos (m)	BALANZO MP	LLENADO MANUAL	GRAMERA	SELLADORA DE FIDEL	PERFORADORA	GRAPADORA INDUSTRIAL	CODIFICADORA	EMPACARY ALMACENAR	TAMIZ VIBRATORIO	SELECCIÓN MANUAL	PELADO MANUAL	PICADOR	ZARANDA PT	MOLINO DE MARTILLO	MECLADO MANUAL	MOLINO DE DISCO
1	Ajo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
2	Achote Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
3	Canela en Astilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
4	Clavo de Obr Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
5	Nuez Moscada Etera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
6	Pimienta Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
7	Ajo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
8	Achote Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
9	Canela Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
10	Clavo de Obr Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
11	Comino Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
12	Laurel Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
13	Liraza Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
14	Nuez Moscada Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
15	Orégano Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
16	Pimienta Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
17	Tomillo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
18	Guesca	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
19	Ablanda Carnes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
20	Acacia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
21	Almendras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
22	Anís Estrelado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
23	Comino Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
24	Laurel Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
25	Liraza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
26	Mosaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
27	Orégano Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
28	Tomillo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
29	Acento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
30	Adobo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
31	Azafrán (Achote)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
32	Azafrán (Raiz)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
33	Cuny Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
34	Trisazón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
35	Poko para Hornear	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
36	Coco Rallado Nat. Desh.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
37	Bicarbonato	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
38	Aji Picante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1			
39	Bolito	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1			
40	Caléndula	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
41	Cineelas Pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
42	Manzanilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
43	Miel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
44	Mosaza Líquida	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
45	Salsa Negra	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
46	Uvas pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
47	Zen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
TOTAL		47	47	47	47	47	47	47	47	28	6	2	2	19	12	5	5

CÉLULA 1	CÉLULA 2	CÉLULA 3	CÉLULA 4
----------	----------	----------	----------

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 7. Configuración de 3 células, opción 3A

ALGORITMO DE ORDENAMIENTO BINARIO																	
N°	Máq./Act (n) Productos (m)	BALANZO IMP	LLEVADO MANUAL	GRAMERA	SELLADORA DE PEDAL	PERFORADORA	GRAPADORA INDUSTRIAL	CODIFICADORA	EMPACAR Y ALMACENAR	TAMIZ VIBRATORIO	SELECCION MANUAL	PELADO MANUAL	PICADOR	ZARANDA PT	MOLINO DE MARTILLO	MEZCLADO MANUAL	MOLINO DE DISCO
Opción 3A																	
1	Ajo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
2	Achote Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
3	Canela en Astilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
4	Clavo de Olor Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
5	Nuez Moscada Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
6	Pimienta Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
7	Ajo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
8	Achote Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
9	Canela Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
10	Clavo de Olor Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
11	Comino Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
12	Laurel Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
13	Linaza Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
14	Nuez Moscada Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
15	Orégano Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
16	Pimienta Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
17	Tomillo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
18	Gusca	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1				
19	Ablandia Carnes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
20	Acacia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
21	Almendras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
22	Anís Estrellado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
23	Comino Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
24	Laurel Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
25	Linaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
26	Mostaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
27	Orégano Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
28	Tomillo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
29	Acento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
30	Adobo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
31	Azafrán (Achote)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
32	Azafrán (Raíz)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
33	Curry Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
34	Trisazón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
35	Polvo para Hornear	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
36	Coco Rallado Nat. Desh.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1				
37	Bicarbonato	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
38	Aji Picante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1			
39	Boldo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
40	Caléndula	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
41	Cruetas P.asas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
42	Manzanilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
43	Miel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
44	Mostaza Líquida	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
45	Salsa Negra	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
46	Uvas pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
47	Zen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
TOTAL		47	47	47	47	47	47	47	47	28	6	2	2	19	12	5	5

CÉLULA 1

CÉLULA 2

CÉLULA 3

CÉLULA 1	CÉLULA 2	CÉLULA 3
----------	----------	----------

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 8. Configuración de 3 células, opción 3B

ALGORITMO DE ORDENAMIENTO BINARIO																	
N°	Máq /Act (n) <i>Productos (n)</i>	BALANEO IMP	LLENADO MANUAL	GRAMERA	SELLADORA DE PEDAL	PERFORADORA	GRAPADORA INDUSTRIAL	CODIFICADORA	EMPACAR Y ALMACENAR	TAMIZ VIBRATORIO	SELECCIÓN MANUAL	PELADO MANUAL	PICADOR	ZARANDA PT	MOLINO DE MARTILLO	MEZCLADO MANUAL	MOLINO DE DISCO
1	Ajo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
2	Achote Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
3	Canela en Astilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
4	Clavo de Olor Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
5	Nuez Moscada Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
6	Pimienta Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
7	Ajo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
8	Achote Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
9	Canela Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
10	Clavo de Olor Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
11	Comino Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
12	Laurel Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
13	Ureaza Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
14	Nuez Moscada Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
15	Oregano Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
16	Pimienta Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
17	Tornillo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
18	Guasca	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1				
19	Ablanda Carnes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
20	Acacia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
21	Almendras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
22	Anís Estrellado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
23	Comino Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
24	Laurel Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
25	Ureaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
26	Mosaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
27	Oregano Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
28	Tornillo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
29	Acento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1		
30	Adobo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1
31	Azafrán (Achote)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1
32	Azafrán (Raíz)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1
33	Curry Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1
34	Trisazón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1	1
35	Polvo para Hornear	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1			
36	Coco Rallado Nat. Desh.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1				
37	Bicarbonato	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
38	Aji Picante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1			
39	Boldo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
40	Caléndula	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
41	Ciruelas P. pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
42	Manzanilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
43	Miel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
44	Mosaza Líquida	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
45	Salsa Negra	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
46	Uvas pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
47	Zen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
TOTAL		47	47	47	47	47	47	47	47	28	6	2	2	19	12	5	5

CÉLULA 1

CÉLULA 2

CÉLULA 3

CÉLULA 1	CÉLULA 2	CÉLULA 3
----------	----------	----------

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 9. Configuración de 2 células, opción 4

ALGORITMO DE ORDENAMIENTO BINARIO																	
N°	Mq (Act (n) Productos (m)	BALANZÓ M/P	LLEVADO MANUAL	GRAMERA	SELLADORA DE PEDAL	PERFORADORA	GRAPADORA INDUSTRIAL	CORPICIADORA	EMPACAR Y ALMACENAR	TAMIZ VIBRATORIO	SELECCIÓN MANUAL	PELADO MANUAL	PICADOR	ZARANDA PT	MOLINO DE MARTELLO	MECLADO MANUAL	MOLINO DE DISCO
1	Ajo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
2	Achiote Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
3	Canela en Astilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
4	Clavo de Olor Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
5	Nuez Moscada Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
6	Pimienta Ertera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
7	Ajo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
8	Achiote Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1		
9	Canela Moida	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
10	Clavo de Olor Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		
11	Comino Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1		
12	Laurel Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1		
13	Linaza Moida	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1		
14	Nuez Moscada Moida	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1		
15	Orégano Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1		
16	Pimienta Moida	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1		
17	Tomillo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1		
18	Gusca	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1				
19	Ablanda Carnes	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
20	Acacia	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
21	Almendras	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
22	Anís Estrelado	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
23	Comino Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
24	Laurel Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
25	Linaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
26	Mostaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
27	Orégano Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
28	Tomillo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
29	Acento	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1	1		
30	Adobo	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1	1
31	Azafrán (Achiote)	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1	1
32	Azafrán (Raiz)	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1	1
33	Curry Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1	1
34	Trisazón	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1		1	1
35	Polvo para Hornear	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1			
36	Coco Rallado Nat. Desh.	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1				
37	Bicarbonato	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1			
38	Aji Picante	1	1	1	1	1	1	1	1	1				1			
39	Boldo	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
40	Caléndula	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
41	Cruelas Pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
42	Manzanilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
43	Miel	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
44	Mostaza Líquida	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
45	Salsa Negra	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
46	Uvas pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
47	Zen	1	1	1	1	1	1	1	1	1							
TOTAL		47	47	47	47	47	47	47	47	28	6	2	2	19	12	5	5

CÉLULA 1 CÉLULA 2

Fuente. Elaboración propia.

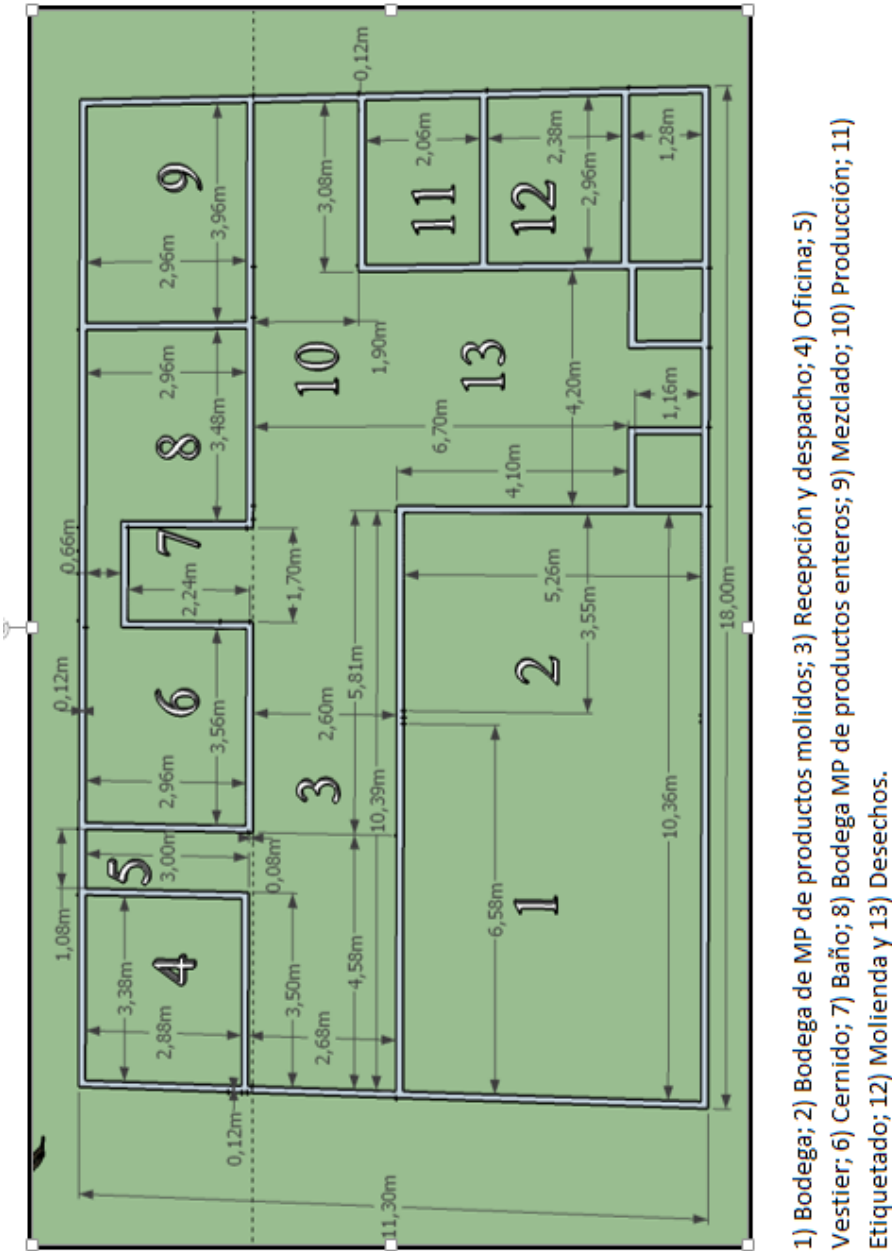
Anexo 10. Configuración de 1 célula, opción 5

ALGORITMO DE ORDENAMIENTO BINARIO																	
N°	Máq (Act (n) <i>Productos/ln</i>)	BALANZO MP	LLENADO MANUAL	GRAMERA	SELLADORA DEFEDAL	PERFORADORA	GRAPADORA INDUSTRIAL	CORREGIDORA	EMPACAR Y ALMACENAR	TAMIZ VIBRATORIO	SELECCIÓN MANUAL	PELADO MANUAL	ZARANDA PT	MOLINO DE MARTILLO	PICADOR	MECLADO MANUAL	MOLINO DE DISCO
1	Ajo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
2	Achote Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
3	Canela en Astilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
4	Clavo de Olor Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
5	Nuez Moscada Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
6	Pimienta Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
7	Ajo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
8	Achote Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
9	Canela Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
10	Clavo de Olor Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
11	Comino Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
12	Laurel Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
13	Linaza Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
14	Nuez Moscada Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
15	Orégano Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
16	Pimienta Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
17	Tomillo Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
18	Gusca	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1			
19	Ablanda Carnes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
20	Acacia	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
21	Almendras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
22	Anís Estrellado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
23	Comino Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
24	Laurel Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
25	Linaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
26	Mostaza Entera	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
27	Orégano Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					
28	Tomillo Entero	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
29	Acento	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
30	Adobo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
31	Azafrán (Achote)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
32	Azafrán (Raíz)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
33	Curry Molido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
34	Trisazón	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1
35	Polvo para Hornear	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
36	Coco Rallado Nat. Desh.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
37	Bicarbonato	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
38	Aji Picante	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
39	Bolito	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
40	Caléndula	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
41	Cuevas Pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
42	Manzanilla	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
43	Miel	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
44	Mostaza Líquida	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
45	Salsa Negra	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
46	Uvas pasas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
47	Zen	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
TOTAL		47	47	47	47	47	47	47	47	28	6	2	19	12	2	5	5

CÉLULA 1

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 11. Medidas de las áreas de Condisazón



Fuente. Elaboración propia.

Anexo 12. Cercanía entre máquinas

N°		MÁQUINAS/ACTIVIDADES	CERCANÍA ENTRE MÁQUINAS															TOTAL	VALOR TOTAL DE CERCANÍA	
			BA	TA	LL	GR	SE	G	P	CO	AL	SL	PE	PI	ME	MM	MD			ZA
1		Balanzón	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	1	1	2	0	1	1	12	12
2	Tamiz Vibratorio	TA	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	2	0	8	10
3		Llenado			0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	7	11
4	Gramera	GR				0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8
5	Sellado	SE					0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8
6	Grapadora	G						0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8
7	Perforadora	P							0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	8
8	Codificadora	CO								0	4	0	0	0	0	0	0	0	4	8
9	Almacenado	AL									0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
10	Selección	SL										0	1	0	0	0	0	0	1	5
11	Pelado	PE											0	0	0	0	1	0	1	4
12	Picado	PI												0	0	0	0	0	0	3
13	Mezcla	ME													0	2	0	0	2	4
14	Molino de martillo	MM														0	0	2	2	4
15	Molino de disco	MD															0	2	2	6
16	Zaranda	ZA																0	0	7
TOTAL			0	2	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	2	2	4	7		

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 13. Distancia recorrida departamento. De producción-propuesta 1

DISTANCIA TOTAL RECORRIDA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN PROPUESTA 1																	
NODOS	BA	SL	PL	PI	ME	TA	MD	MM	ZA	LL	GR	SE	PE	GI	CO	A	TOTAL
BA	0	20	20	0	0	0	0	0	0	4	4	4,3	14	0	8	2	76,3
SL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	8	5,7	0	0	4	0	37,7
PL	0	0	0	6,4	0	0	0	0	0	0	0	5,7	0	0	0	20	32,1
PI	0	0	0	0	13,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,6
ME	0	0	0	0	0	41,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	41,2
TA	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
MD	0	0	0	0	0	0	0	16,4	0	0	0	0	0	0	0	0	16,4
MM	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	18
ZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
GR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	6
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
GI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DISTANCIA TOTAL RECORRIDA																	301,3

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 14. Distancia recorrida departamento. De producción-propuesta 2

DISTANCIA TOTAL RECORRIDA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN PROPUESTA 2																	
NODOS	BA	SL	PL	PI	ME	TA	MD	MM	ZA	LL	GR	SE	PE	GI	CO	A	TOTAL
BA	0	17	17	0	0	0	0	0	0	4	4	4,28	14	0	8	2	70,28
SL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	12,5	11,4	0	0	21	0	65,86
PL	0	0	0	13,6	0	0	0	0	0	0	0	11,4	0	0	0	21	45,96
PI	0	0	0	0	33,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33,6
ME	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38
TA	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
MD	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	6
MM	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	14
ZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
GR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	6
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
GI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	16
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DISTANCIA TOTAL RECORRIDA																	339,7

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 15. Distancia recorrida departamento. De producción-propuesta 3

DISTANCIA TOTAL RECORRIDA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN PROPUESTA 3																	
NODOS	BA	SL	PL	PI	ME	TA	MD	MM	ZA	LL	GR	SE	PE	GI	CO	A	TOTAL
BA	0	18	18	0	0	0	0	0	0	8	5	7,6	18	0	9	4	87,6
SL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	12	10,8	0	0	16	0	64,8
PL	0	0	0	14,4	0	0	0	0	0	0	0	10,8	0	0	0	26	51,2
PI	0	0	0	0	15,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15,2
ME	0	0	0	0	0	28,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28,4
TA	0	0	0	0	0	0	27,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27,6
MD	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12
MM	0	0	0	0	0	0	0	0	9,6	0	0	0	0	0	0	0	9,6
ZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
GR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
GI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DISTANCIA TOTAL RECORRIDA																	321,4

Fuente. Elaboración propia.

Anexo 16. Distancia recorrida departamento. De producción-propuesta 4

DISTANCIA TOTAL RECORRIDA EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN PROPUESTA 4																	
NODOS	BA	SL	PL	PI	ME	TA	MD	MM	ZA	LL	GR	SE	PE	GI	CO	A	TOTAL
BA	0	24	24	0	0	0	0	0	0	8	5	7,6	18	0	9	4	99,6
SL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	7	5,8	0	0	6	0	34,8
PL	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	5,8	0	0	0	16	37,8
PI	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
ME	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
TA	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
MD	0	0	0	0	0	0	0	13,2	0	0	0	0	0	0	0	0	13,2
MM	0	0	0	0	0	0	0	0	24,4	0	0	0	0	0	0	0	24,4
ZA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
GR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
GI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	8
CO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	10
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DISTANCIA TOTAL RECORRIDA																	276,8

Fuente. Elaboración propia.

BIBLIOGRAFÍA

- AALAEI, Amin y DAVOUDPOUR, Hamid. A robust optimization model for cellular manufacturing system into supply chain management. En: Science Direct. 2017. N°. 183, p. 667–679. (s.f.).
- BLACK, J. Temple; HUNTER, Steve *Lean Manufacturing Systems and Cell Design, Society of Manufacturing, 2003. p. 57. (s.f.).*
- BURBIDGE, John. Production flow analysis for planning group technology. En: Science Direct. Enero, 1991, vol. 10, no. 1, p. 5-27. (s.f.).
- CHAN, Felix; LAU, K.W.; CHAN, P.L.Y y CHOY, K.L. Two-stage approach for machine-part grouping and cell layout problems. En: Science Direct. Julio, 2006, vol. 22, no. 3, p. 217 – 238. (s.f.).
- CORDOVÉS G., Alexis; SANZANO T, Jaime J.; LASTRE A, Arlys M.y ÁVILA R., Ricardo. *Procedimiento para la fabricación de elementos de máquinas mediante tecnología de grupo en la pequeña y media empresa. En: Revista Chilena de Ingeniería. Junio, 2017, vol. 25. (s.f.).*
- CUATRECASAS, Lluís. Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible. Barcelona: Profit, 2009. ISBN: 97884929568852, pag, 0 - 719. (s.f.).
- DEUSE, J; KONRAD, B y BOHNEN, F. Renaissance of group technology: Reducing variability to match lean production prerequisites. En: Science Direct. Junio, 2013, vol. 46, no. 9, p. 998-1003. (s.f.).
- FAHMY, Sherif A. Optimal Design and Scheduling of Cellular Manufacturing Systems An Experimental Study. En: IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Octubre, 2016. p. 004532-004533. (s.f.).
- FUENTE, David y FERNANDEZ, Isabel. Distribución en planta. Universidad de Oviedo, 2015, pág. 1 – 183. . (s.f.).
- GUERRERO, John; LÓPEZ, Diana y DÍAZ, Ermilso. Modelo físico de una célula de manufactura, aplicado a un caso de estudio. En: Investigación, Tecnología y Ciencia. Enero - Diciembre, 2016. p. 77-87. (s.f.).
- HO, et al. A hybrid approach for concurrent layout design of cells and their flow paths in a tree configuration. Citado por JERIN, et al. Integrated Layout Design Approach for CMS Environment. En: J. of applied science. 2012, vol. 12, no. 23, p. 2411-2417. (s.f.).
- IMRAN, Muhammad; KANG, Changwook; HAE LEE, Young; JAHANZAIB, Mirza y AZIZ, Haris. Cell formation in a cellular manufacturing system using simulation integrated hybrid genetic algorithm. En: Science Direct. 2017, no. 105, p. 123-135. (s.f.).

- KIA, R.; BABOLI, A. et al. Solving a group layout desing model of a dynamic CM system with alternative process routings, lot splitting and flexible reconfiguration by simularte annealing. En: ScienceDirect. Noviembre, 2012, vol. 39, no. 11, p. 2642-2658. (s.f.).
- KIA, Reza; TAVAKKOLI – MOGHADDAM, R.; JAVADIAN, N.; BABOLI, A y KAZEMI, M. A group layout desing model of a dynamic cellular manufacturing system. En: IEEE, 3rd International Conference on Communication Software and Networks. Septiembre, 2011, p. 745-749. (s.f.).
- KITAZAWA, Masaki; TAKAHASHI, Satoshi; TAKAHASHI, Toru; YOSHIKAWA, Atsushi y TERANO, Takao. Combining Workers' Behavior Data and Real Time Simulator for a Cellular Manufacturing System. En: IEEE, World Automation Congress (WAC). Octubre, 2016, p. 1-6. (s.f.).
- KUMAR, San J.; SINGH, Mahima y KUMAR, Bimal. Optimization of Manufacturing System through Group Technology: A Case Study of Fastener Industry. En: International Journal of Industrial Engineering and Technology. 2013, vol. 5, no. 2. p. 27-32. (s.f.).
- MEDINA, Pedro; CRUZ, Eduardo y PINZÓN, Manuel. Generación de celdas de manufactura usando el Algoritmo de Ordenamiento Binario (AOB). En: Universidad Tecnológica de Pereira. Abril, 2010. No, 44, p. 106-110. (s.f.).
- MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL (CO). Instrucciones de instalación de Bizagi [Online]. Junio, 2016 [Referenciado: 3 de sep. de 2018]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/Instruccion-bizagi-rias.pdf>. (s.f.).
- MIRANDA, Noé. Tecnología de grupo y Manufactura Celular [Tesis online]. Univ de Sonora, División de Ing. Biblioteca digital, 1997 [Referenciado 24 de agosto de 2018]. p. 1-50, no ID: 8723. Disponible en: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=8723>. (s.f.).
- MITROFANOV, S.P. The Scientific Principles of GT, Citado por CORDOVES, A; SANZANO, J; LASTRE, A y AVILA, R. Procedimiento para la fabricación de elementos de máquinas mediante TG en PYME. En: Rev. chilena de ingeniería. 2017, vol. 25, no. 2, p. 255-263. (s.f.).
- MOHAMMADI, Mohammad y FORGHANI, Kamran. Designing cellular manufacturing systems considering S-shaped layout. En: Science Direct. Agosto, 2016, vol. 98, p. 221-236. (s.f.).
- ORTIZ F., Fernando. et al. Comparación de la eficiencia de la solución de dos métodos usados para formar CM: BEA y DCA. En: 6th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Tegucigalpa, Honduras. Junio, 2008, P. 1-5. (s.f.).

- SALUM, L. The cellular manufacturing layout problem. 2000. Citado por EBRAHIMI, A; KIA, R y RASHIDI, A. Solving a mathematical model integrating unequal area facilities layout and part scheduling in a CMS by a AG. En: Springer Open. 2016, p. 1-29. (s.f.).
- TAO XU, Yang; ZHANG, Yu; HUANG, Xue. Single-machine ready times scheduling with group technology and proportional linear deterioration. En: Science Direct. Enero, 2014, vol. 38, no. 1. p. 384 – 391. (s.f.).
- TOMPKINS, James, A; WHITE, Jhon, A; BOZER, Yavuz, A y TANCHOCO, J.M.A. *Facilities planning*. 4 e.d. Estados Unidos: JOHN WILEY & SONS, 2010. 864 p. ISBN: 978-0-470-44404-7. (s.f.).
- TORRES, José, A. Células de trabajo [Tesis online]. Universidad de Sonora, División de Ingeniería. Biblioteca digital, 1999 [Consultado: 20 de agosto de 2018]. p. 1-34, no ID: 9237. Disponible en: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=9237>. (s.f.).
- VILLASEÑOR, Alberto y GALINDO, Edber. *Conceptos y reglas de lean manufacturing*. 1 ed. México: Limusa, 2007. ISBN-13: 978-968-18-6966-3. (s.f.).
- WANG, S. et al. Locating cells with bottleneck machines in CMS. En: Int. J. of Production Research. Citado por FALLAH, K. et al. A Mathematical Model for Cell Formation in CMS Using Sequence Data. En: J. of Ind. and Systems Eng. 2008, vol. 2, no. 2, p. 144-153. (s.f.).
- WANG, T.Y; WU, K.B y LIU, Y.W. A simulated annealing algorithm for facility layout problems under variable demand in cellular manufacturing systems. En: Science Direct. Marzo, 2001, vol. 46, no. 2, p. 181-188. (s.f.).
- WU, Xiaodan; CHU, Chao – Hsien; WANG, Yunfeng y YAN, Weili. A genetic algorithm for cellular manufacturing design and layout. En: Science Direct. Agosto, 2007, vol. 181, no. 1, p. 156-167. (s.f.).
- ZAFAR, Maral y AZAB, Ahmed. A Novel Bi-level Continuous Formulation for the Cellular Manufacturing System Facility Layout Problem. En: Science Direct. 2015, vol. 33, p. 87-92. (s.f.).