



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**Análisis de redistribución de planta del área de producción en el Aserradero
Moderno**

Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Industrial

Autor:

Agualzaca Caisaguano Alex Hernan

Tutor:

Ing. Mario Vicente Cabrera Vallejo, PhD

Riobamba, Ecuador. 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, AGUALZACA CAISAGUANO ALEX HERNAN, con cédula de ciudadanía 0606336592, autor del trabajo de investigación titulado: ANÁLISIS DE REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN EN EL ASERRADERO MODERNO, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 20 de mayo de 2026



AGUALZACA CAISAGUANO ALEX HERNAN
C.I: 0606336592

DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Mario Vicente Cabrebra Vallejo, PhD catedrático a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **ANÁLISIS DE REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN EN EL ASERRADERO MODERNO** bajo la autoría de AGUALZACA CAISAGUANO ALEX HERNAN; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad; en Riobamba a los 10 días del mes de mayo de 2026


Ing. Mario Vicente Cabrera Vallejo, PhD
TUTOR


CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de ANÁLISIS DE REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN EN EL ASERRADERO MODERNO, presentado por Agualzaca Caisaguano Alex Herman, con cédula de identidad numero 0606336592, bajo la tutoria de Ing. Mario Vicente Cabrera Vallejo, PhD; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se he evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba a la fecha 29 de mayo de 2026

Ing. Fidel Vallejo Gallardo, PhD.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO



Biof. Rosa Maricela Ormaza Hugo. Mgs

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO



Ing. Luis Stalin López Telenchana. Mgs

MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO





Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO

en movimiento



UNACH-RGF-01-04-08.17
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, **AGUALZACA CAISAGUANO ALEX HERNAN** con CC: **0606336592**, estudiante de la Carrera **INGENIERÍA INDUSTRIAL**, Facultad de **INGENIERÍA**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "**ANÁLISIS DE REDISTRIBUCIÓN DE PLANTA DEL ÁREA DE PRODUCCIÓN EN EL ASERRADERO MODERNO**", cumple con el 10 %, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **COMPILATIO MAGISTER**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 21 de mayo de 2026



Validar documento en línea:
Escaneando el código QR por:
**MARIO VICENTE
CABRERA VALLEJO**

PhD. Mario Cabrera
TUTOR

DEDICATORIA

A Dios, por ser la guía de mi camino, por brindarme la salud, la fortaleza y la sabiduría necesaria para superar cada desafío y por permitirme alcanzar esta meta profesional con éxito y templanza.

A mis padres, María y Sebastián, quienes han sido el motor y la inspiración detrás de cada paso que doy. Gracias por su amor incondicional, por sus sacrificios y por haberme enseñado el valor de la perseverancia.

A mis hermanos y hermanas, quienes, con su apoyo constante, sus palabras de aliento y su presencia en los momentos de mayor dificultad, hicieron que el camino fuera más liviano. Gracias por comprender mis ausencias y por celebrar conmigo cada pequeño avance en este proceso de formación.

Alex Agualzaca

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, expreso mi más profundo agradecimiento a la Universidad Nacional de Chimborazo, por haberme acogido en sus aulas y brindado los conocimientos necesarios para mi formación profesional. A la Facultad de Ingeniería y cada uno de los docentes que, con su experiencia y exigencia.

Un reconocimiento especial a mi tutor, el Ing. Mario Vicente Cabrebra. PhD, por su valiosa guía, su paciencia y sus acertadas correcciones durante todo el desarrollo de esta investigación. Su orientación fue fundamental para la culminación de este trabajo.

Agradezco de manera más sincera al Aserradero Moderno, por haberme permitido abrir las puertas de su planta de producción para realizar este estudio. Gracias a su gerente la Sra. Aida Cruz y a todo el personal operativo por la apertura, la información facilitada y la confianza depositada en mi trabajo para proponer mejoras en su infraestructura y procesos. A mis compañeros y amigos de carrera, con quienes compartí jornadas de estudio. Las experiencias compartidas dentro y fuera de las aulas hicieron que este camino fuera mucho más enriquecedor.

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL	
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTO	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
CAPÍTULO. I INTRODUCCIÓN.....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Planteamiento del problema	17
1.2.1 Descripción del Problema.....	17
1.2.2 Formulación del problema.....	17
1.3 Justificación	18
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 Objetivo general.....	18
1.4.2 Objetivos específicos	18
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 Estado del arte	19
2.2 Marco teórico.....	19
2.2.1 Distribución de la planta.....	19
2.2.2 Objetivos de la distribución de plantas	20
2.2.3 Importancia de la distribución de plantas	20
2.2.4 Layout de instalaciones industriales	20
2.2.5 Principios básicos de distribución en planta (layout)	21
2.2.6 La distribución en nueva planta frente a la reordenación de una planta existente	21
2.2.7 Moore y Apple realizan una enumeración de posibles causas	22
2.2.8 Tipos de Distribución	22
2.2.9 Tipos de Layout Basados en el Flujo.....	22
2.2.10 Principios que deben cumplir las distribuciones.	23
2.2.11 Planificación Sistemática del Layout (SLP).....	23
2.2.12 Pasos para aplicación del SLP	24
2.2.13 Modelado matemático para problemas de distribución	28
2.2.14 Modelado matemático para problemas de distribución en planta	29
2.2.15 Modelo cuadrático de asignaciones.....	29
2.2.16 Algoritmos constructivos de resolución de problemas de distribución en la planta	30
2.2.17 CORELAP.....	31
2.2.18 Algoritmos de mejora	31
2.2.19 Método CRAFT.....	32

2.2.20 Generación de layouts por computadoras.....	33
2.2.21 WinQSB.....	33
2.2.22 Indicadores para el problema de distribución en planta	33
2.2.22 Utilización y suficiencia espacial	35
2.2.24 Glosario de términos.....	36
CAPITULO III. METODOLOGIA.....	36
3.1 Metodología de la investigación.....	36
3.1.1 Tipo de investigación.....	36
3.1.2 Diseño de la investigación	36
3.1.3 Nivel de investigación	37
3.2 Técnicas de Recolección de datos	37
Población y Muestra	37
3.3.1 Población	37
3.3.2 Muestra	38
1.4 Hipótesis	38
3.4.1 Hipótesis Nula	38
3.4.2 Hipótesis alternativa	38
Procedimiento de la Investigación.....	38
Operacionalización de variables	39
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.Resultados.....	41
4.1.1 Diagnóstico de la situación actual del área de producción.....	41
Inventario de maquinaria de la empresa Aserradero Moderno.....	41
Layout de la distribución actual.....	43
Diagrama de flujo del proceso.....	44
Diagrama de recorridos	45
Diagrama Analítico de Proceso	46
4.1.2 Metodología SLP (Systematic Layout Planning)	47
Estimación de la superficie total: Distribución de planta (Metodología de Guerchet)	47
Layout propuesto por CORELAP 1.0.....	54
Layout propuesto por el estudiante.....	56
Layout Propuesto por los trabajadores	57
4.1.3 Propuesta de mejora de la distribución en planta del Aserradero Moderno	57
Representación del Layout ejecutada por la simulación de WINQSB	59
4.2 Discusión de resultados	61
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62
5.1 Conclusiones.....	62
5.2 Recomendaciones	62
REFERENCIAS	64
ANEXOS	68

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Diseño de encuesta.....	68
Anexo 2 Encuesta realizada a los trabajadores.....	69
Anexo 3 Encuesta realizada al jefe de planta	70
Anexo 4 Area de cepillada y canteado	70
Anexo 5 Area de almacenamiento.....	71
Anexo 6 Medición de la distancia entre la maquina y el material.....	71
Anexo 7 Patio de recepción de la materia prima	72
Anexo 8 Resultados de iteraciones entre los departamentos para el cálculo de TCR del algoritmo constructivo Corelap	72
Anexo 9 Resultados de iteraciones entre los departamentos para el cálculo de TCR del algoritmo constructivo Corelap	73
Anexo 10 Resultados del análisis de diseño en WinQSB	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Lista de Maquinarias	41
Tabla 2 Superficie estática.....	47
Tabla 3 Superficie de gravitación.....	48
Tabla 4 Estatura de los operarios del área de producción	49
Tabla 5 Altura de la maquinaria	49
Tabla 6 Superficie de evolución	50
Tabla 7 Superficie Total requerida	51
Tabla 8 Valor de proximidad.....	51
Tabla 9 Codificación de departamentos	57
Tabla 10 Flujo de material entre departamentos y coordenadas de las localizaciones.....	58
Tabla 11 Resultados de los escenarios evaluados por la simulación.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Tabla de relación de actividades	25
Figura 2	Diagrama de relación de actividades.....	26
Figura 3	Diagrama relacional de espacios con indicación del área requerida por actividad.....	27
Figura 4	Tipo de problemas de distribución de planta	28
Figura 5	Tipo de problemas de distribución de planta	29
Figura 6	Colocación de actividades en CORELAP	31
Figura 7	Intercambio de dos actividades en CRAFT	32
Figura 8	Layout de la empresa Aserradero Moderno	43
Figura 9	Diagrama de proceso de la fabricación de duela.....	44
Figura 10	Diagrama de recorrido de la materia prima.....	45
Figura 11	Diagrama Analítico de la transformación de duela de madera	46
Figura 12	Tabla de relacional de actividades	52
Figura 13	Matriz de relación de actividades.....	53
Figura 14	Tabla de proximidad de los departamentos.....	54
Figura 15	Layout adecuado utilizando CORELAP 1.0	54
Figura 16	Layout propuesto CORELAP	55
Figura 17	Layout propuesto por el estudiante	56
Figura 18	Resultados del problema de asignación cuadrática (QAP) utilizando WINQSB basándose en la distribución actual del área de producción	59
Figura 19	Resultados del problema de asignación cuadrática (QAP) utilizando WINQSB basándose en la distribución propuesta por trabajadores del área de producción	60

RESUMEN

La presente investigación se enmarca en la línea de optimización de proceso productivos, enfocándose en el análisis y mejora estratégica de la empresa Aserradero Moderno, El estudio parte de un diagnóstico de la situación actual, donde se evidenciaron deficiencias críticas: exceso de distancia en el recorrido de la materia prima, estaciones de área que carecen del área necesario para la operación y una enmarcada desconexión en el flujo de materiales. Ante este escenario, el objetivo central es diseñar una redistribución de planta del área de producción del Aserradero Moderno utilizando la metodología Planificación Sistemática del Layout (SLP) para mejorar la productividad.

El diseño de la investigación es de carácter descriptivo la población de estudio comprende la totalidad del área de producción, incluyendo infraestructura, operarios, maquinarias y materiales. El proceso se desarrolló en tres etapas. En la primera etapa, se realizó un diagnóstico la situación actual de la empresa utilizando herramientas como el estudio de tiempos y diagrama de recorrido; En la segunda etapa, se empleó el método SLP para determinar alternativas de redistribución; y en la tercera etapa, se validaron las propuestas mediante la resolución del problema de asignación cuadrática (QAP).

Los resultados obtenidos tras la aplicación del modelo demuestran una mejora significativa en los indicadores de eficiencia operativa. Finalmente, la investigación deja constancia de que la integración de técnicas algorítmicas con herramientas asistidas por ordenadores constituye una alternativa vanguardista y eficaz para solucionar problemas de distribución de plantas.

Palabras clave: Distribución de planta, algoritmos constructivos, algoritmos de mejora, diagrama de correlaciones, algoritmos heurísticos, centroides.

ABSTRACT

This research falls within the field of production process optimization, focusing on the analysis and strategic improvement of the company Aserradero Moderno. The study begins with an assessment of the current situation, which revealed critical deficiencies: excessive distances for raw material transport, workstations lacking the necessary space for operations, and a significant disconnect in the material flow. Given this scenario, the central objective is to design a plant layout for Aserradero Moderno's production area using the Systematic Layout Planning (SLP) methodology to improve productivity.

The research design is descriptive; the study population comprises the entire production area, including infrastructure, operators, machinery, and materials. The process was carried out in three stages. In the first stage, a diagnosis of the company's current situation was conducted using tools such as time studies and route diagrams; in the second stage, the SLP method was employed to determine layout alternatives; and in the third stage, the proposals were validated by solving the quadratic assignment problem (QAP).

The results obtained after applying the model demonstrate a significant improvement in operational efficiency indicators. Finally, the research confirms that integrating algorithmic techniques with computer-aided tools constitutes a cutting-edge, effective alternative for solving plant layout problems.

Keywords: Plant layout, constructive algorithms, optimization algorithms, correlation diagram, heuristic algorithms, centroids.



Reviewed by:
Ms.C. Ana Maldonado León
ENGLISH PROFESSOR
C.I.0601975980

CAPÍTULO. I INTRODUCCIÓN

La distribución de planta es uno de los aspectos fundamentales para el ordenamiento de las áreas de trabajo y de las máquinas. Esta garantiza maximizar la productividad, minimizar los costos operativos, garantizar la seguridad y facilitar el flujo de materiales y personal. Sin embargo, muchas empresas de sector maderero no le dan la debida importancia; por lo mismo, el presente proyecto se centrará en el análisis y la optimización de la redistribución de planta de la empresa "Aserradero Moderno", ubicada en Riobamba, Chimborazo, Ecuador; la cual está dedicada a la transformación de madera en duelas.

El objetivo principal de este estudio es proponer una redistribución de la planta en el área de producción. En la primera etapa de la investigación, se realizará un diagnóstico de la situación actual mediante un diagrama de recorrido de los materiales. Esta herramienta permitirá evidenciar con precisión el proceso de transformación de la madera a duelas, además, de identificar áreas de mejora y proponer soluciones concretas.

Dentro de los métodos aplicados para el correcto diseño de la planta, destacan dos metodologías fundamentales. En primer lugar, se encuentra el Systematic Layout Planning (SLP), cuyo objetivo es la organización y optimización lógica de la distribución de las áreas de trabajo. En segundo lugar, se emplea el modelo matemático heurístico conocido como Problema de asignación Cuadrática (QAP), el cual valida su formulación y solución en algoritmos de simulación de eventos discretos. Esta última busca optimizar el coste de manipulación de materiales, definido matemáticamente como el producto del flujo de trabajo por la distancia de desplazamiento.

Sin duda, una apropiada distribución de planta constituye una de las acciones clave para incrementar la competitividad empresarial. Una organización espacial optima ofrece ventajas como la reducción de accidentes laborales, incremento de la productividad, reducción de material innecesario en el proceso y de tiempos de producción.

1.1 Antecedentes

Según Demers (2020), la industria maderera es una de las más importante a nivel global. En la mayoría de los países se realiza la tala de árboles, de los cuales el 69 % son destinados a fines industriales; casi la totalidad, son destinados a la fabricación de productos y estructuras, se procesan inicialmente en aserraderos. En el contexto nacional, Ecuador exporto 95 millones de dólares en 2004, sector que genera aproximadamente 200.000 plazas de trabajos directos. El abastecimiento de esta industria procede fundamentalmente de plantaciones forestales. A pesar de su relevancia económica, en el país aún existen aserraderos con un bajo desarrollo tecnológico, procesos ilógicos en la cadena de producción y una distribución espacial ineficiente.

Agudelo et al. (2022) en su investigación titulada "*Propuesta de diseño y distribución de planta para la empresa Carretes y Maderas Ltda.*", presentó un análisis del Layout actual de la planta. En su estudio, se destacó la importancia de optimizar la distribución de máquinas,

recursos humanos, materiales y servicios auxiliares. El objetivo fue incrementar la competitividad en costos, tiempos de respuesta y calidad mediante una localización estratégica de áreas y equipos. Para alcanzar los objetivos, el autor realizó trabajo de campo y aplicó como SLP (System Layout Planning), Diagrama Pareto, Diagrama Ishikawa. A partir de este diagnóstico, se propusieron de tres alternativas de Layout, de las cuales una de ellas fue evaluada y posteriormente seleccionada como la más adecuada teniendo en cuenta criterios cualitativos como son: Mano de Obra, Materiales, Maquinaria, Espacio, Desplazamientos, el edificio, Servicios Auxiliares, y normas generales de seguridad industrial. Con esa propuesta logro dar una solución a la empresa para realizar el traslado y adecuación de sus instalaciones a la nueva localización.

Por otra parte, Osorio & Parra (2019) en su investigación “**Propuesta de diseño de distribución en planta para mejorar la eficiencia del proceso productivo en la empresa maderas Leandro**”, propusieron un diseño de distribución en planta orientado a la gestión eficiente los recursos disponibles. En su estudio, demostraron que una adecuada organización de las áreas y equipos incrementa considerablemente su productividad. Asimismo, destacaron que un flujo continuo de la operación permite una reducción significativa de los costos operativos.

Por su parte Osorio (2019), en su trabajo de investigación titulada “**Redistribución de planta para incrementar la productividad en la empresa Aserradero Pacasmayo 2019**”, determinó de qué manera la redistribución de planta influiría en la eficiencia operativa en la empresa. El tipo de estudio fue aplicado con un diseño preexperimental, donde la población estuvo conformada por las áreas de la empresa.

Para la obtención de resultados, se emplearon instrumentos como la guía de entrevista y las fichas de recolección de datos, herramientas que permitieron analizar entre la redistribución de planta y la productividad mediante el software estadístico SPSS. Al finalizar el estudio, se concluyó que la redistribución de planta incrementó la productividad en la empresa Aserradero Pacasmayo, con un aumento de porcentaje del 19% en mano de obra y 11.94% en utilización de capacidad.

Finalmente, Anacona et al. (2023), en su investigación titulada “**Optimización de la distribución en la planta con formulación QAP y simulación de eventos discretos**”, tuvieron como la optimizar los costes de manipulación y flujo de materiales, aplicado a una empresa dedicada a la producción de licores. El problema se resolvió utilizando la Técnica de Asignación Relativa Computarizada de Instalaciones, la cual pertenece a los algoritmos heurísticos. Con esta herramienta, se logró determinar la mejor asignación de las áreas para la planta, teniendo en cuenta las distancias recorridas y los costos de flujo de materiales.

Posteriormente, se ejecutó una simulación de eventos discretos para evaluar el desempeño de la nueva distribución frente a las operaciones diarias, integrando la variabilidad de los tiempos de carga y descarga. Los resultados de la simulación sugirieron que la implementación de esta propuesta reduciría los costos y tiempos de flujo de materiales en un 13,22 % y un 4,28 %, respectivamente.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Descripción del Problema

Los aserraderos constituyen actores claves en la economía forestal de varios países latinoamericanos. Países como Chile y Brasil se posicionan como productores destacados a nivel mundial; sin embargo, enfrentan serios desafíos de eficiencia, con rendimientos de producción que apenas alcanzan el 45%. Sumando a la necesidad de un cambio estructural en sus instalaciones, esta industria genera volúmenes de producción tan significativos que representa el 2.81% del PIB primario (Instituto Forestal de Chile et al., 2021).

En Ecuador, existe un número considerable de empresas dedicadas al depósito y venta de madera. No obstante, la mayoría de estas empresas carecen de infraestructura industrial para la transformación de la materia prima, limitando sus actividades operativas a la gestión de inventarios existentes. Asimismo, su alcance logístico es restringido, pues únicamente abastecen a la demanda de los clientes en la ciudad de Riobamba.

El Aserradero Moderno es una empresa familiar con la matriz en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, dedicada a la transformación de madera en duelas. Actualmente enfrenta una problemática significativa en la configuración espacial de su área productiva. Esta deficiencia ha generado un flujo productivo discontinuo y fragmentado, el cual se evidencia en recorridos excesivos entre estaciones. Específicamente, se ha identificado hasta siete operaciones de transporte en apenas 21 metros, lo cual deriva en movimientos ineficientes de materiales a lo largo de la cadena de transformación de la madera.

Del mismo modo la maquinaria de transformación primaria y secundaria muestran una distribución que no responde a la secuencia lógica del proceso productivo, lo que genera retrocesos y cruces en el flujo de materiales.

Según Alvarado (2022), el tiempo estándar en cada ciclo extiende a 344.88 segundos por unidad de duelas cuyas consecuencias son el aumento del desgaste de las maquinarias. Estos factores han generado un incremento en los costos de fabricación de un 10 %. Adicionalmente, la configuración actual no considera adecuadamente las necesidades para la manipulación manual de cargas de madera, exponiendo a los trabajadores a riesgos laborales evitables.

El escenario actual representa un obstáculo para la implementación de mejoras en productividad y calidad, limitando la capacidad del Aserradero Moderno, ante esta situación, surge la necesidad de realizar una reconfiguración estratégica del layout de la planta actual que permita identificar las deficiencias específicas y desarrollar una propuesta de redistribución que optimice el flujo productivo, minimice las distancias recorridas, mejore las condiciones laborales y fortalezca la posición competitiva del Aserradero Moderno en la industria maderera ecuatoriana.

1.2.2 Formulación del problema

¿Cómo puede una redistribución estratégica del Layout del área de producción en el Aserradero Moderno optimizar el flujo productivo, reducir los tiempos y distancias de transporte en la transformación de madera en duelas?

1.3 Justificación

La presente investigación se justifica por la necesidad urgente de resolver las deficiencias operativas que afectan la competitividad, productividad y sostenibilidad del Aserradero Moderno, empresa dedicada a la transformación de madera en duelas. En el contexto de la industria maderera ecuatoriana, donde muchas empresas operan sin infraestructura de transformación y se limitan a la comercialización de materia prima, el Aserradero Moderno, representa una oportunidad estratégica para demostrar cómo la optimización de procesos puede generar valor agregado y fortalecer el posicionamiento en el mercado.

Actualmente, la planta presenta una configuración espacial ineficiente, caracterizada por un flujo de producción discontinuo, recorridos excesivos de hasta 21 metros entre estaciones. Esta distribución desorganizada de maquinaria y áreas de trabajo ha generado retrocesos, cruces innecesarios y un tiempo de ciclo elevado de 344.88 segundos por unidad de duela, lo que ha incrementado los costos de fabricación en un 10% y acelerado el desgaste de los equipos.

Además, la manipulación manual de cargas pesadas en condiciones no ergonómicas expone a los trabajadores a riesgos laborales evitables, comprometiendo la seguridad del personal.

Una redistribución estratégica de la planta se plantea como una solución integral que permitirá optimizar el flujo productivo, estableciendo una secuencia lógica y lineal que elimine recorridos innecesarios y mejore la eficiencia operativa.

En este sentido, la propuesta no constituye una mejora opcional, sino una intervención estratégica indispensable para garantizar la viabilidad a largo plazo del Aserradero Moderno. La investigación contribuirá al desarrollo de soluciones aplicables a otras empresas del sector maderero ecuatoriano, promoviendo prácticas de producción más eficientes y seguras, asimismo, se espera que los resultados sirvan como referencia para futuras iniciativas de modernización industrial en el país.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar la redistribución de planta del área de producción del Aserradero Moderno utilizando la metodología Planificación Sistemática del Layout (SLP) para mejorar la productividad.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Realizar un diagnóstico de la distribución de planta de la empresa “Aserradero Moderno” a través de un diagrama de recorrido para determinar la situación actual.
2. Determinar la relación de actividades del personal, estaciones de trabajo y maquinaria aplicando el método SLP para establecer un flujo de recorrido adecuado.
3. Desarrollar propuestas de mejora en la distribución de la planta basadas en un modelo matemático conocido como problema de asignación cuadrática (QAP) que permite disminuir costos indirectos, tiempos de producción.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Según Rodríguez et al. (2016), la dinámica del entorno que se enfrentan las empresas generan la necesidad de que estas sean flexibles. Por tal motivo, los autores realizaron un rediseño de la planta de una industria láctea integrando metodologías SLP, CRAFT y QAP, y así optimizar el flujo de material y personal que permite aumentar la producción

Además Drada et al. (2019), presentaron una metodología para el mejoramiento de la distribución de plantas bajo un enfoque de solución semicontinuo, el cual integra aspectos cuantitativos y cualitativos en entornos de múltiples criterios. El modelo propuesto comprendió seis fases: definición del problema, la generación de alternativas de distribución de planta con técnicas cualitativas como SLP y cuantitativas como CRAFT y QAP, y la selección de la adecuada mediante la implementación de TOPSIS.

Autores como Sánchez et al. (2023), presentaron una propuesta cuyo objetivo fue mejorar la eficiencia y rentabilidad en la producción de tapas para licores en una fábrica en Bogotá. Para ello, se utilizaron una combinación de técnicas de simulación y análisis de datos con el fin de identificar cuellos de botella y áreas de mejora en la línea de producción actual.

A partir de este diagnóstico, propusieron la redistribución de una de las líneas de producción de la planta para lograr una mejor disposición de las máquinas y equipos, lo cual permitió una reducción en los tiempos de producción y mayor eficiencia en el uso del espacio disponible.

Asimismo, la investigación contempló la implementación de nuevos procesos y mejoras en la logística interna para optimizar el flujo de materiales y reducir los tiempos de espera. Se espera que la implementación de esta propuesta de redistribución permitirá a la fábrica mejorar su eficiencia y rentabilidad, reduciendo los tiempos de producción y costos de operación.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Distribución de la planta

La configuración de la planta se fundamenta en la disposición táctica de la infraestructura, el equipamiento y el talento humano para maximizar los indicadores de rendimiento. En este contexto, Charris et al. (2023) argumentan que esta disciplina gestiona la utilidad de los activos operativos bajo una lógica de flujo continuo, donde la estructuración del espacio físico tiene como propósito central la mitigación de trayectos y la agilización de la cadena de valor

Como sostienen Santos et al. (2014), la distribución de planta trasciende la simple organización de recursos, convirtiéndose en un factor crítico para la rentabilidad manufacturera, la toma de decisiones estratégicas respecto al emplazamiento de los activos y puestos de trabajo que permiten mitigar gastos innecesarios de fabricación.

El diseño de los espacios industriales trasciende la organización la organización física, impactando directamente en la competitividad económica de la entidad, la eficiencia en el almacenamiento y el movimiento de insumos

2.2.2 Objetivos de la distribución de plantas

Para los autores Muther y Hales (1950), la reconfiguración de los espacios industriales persiguen objetivos fundamentales. En primer lugar, busca maximizar la capacidad productiva, permitiendo un mayor volumen de salida sin elevar los costos operativos. Asimismo, se enfoca en la optimización de los tiempos de ciclo mediante el equilibrio de las cargas de trabajo, lo que minimiza las interrupciones en el flujo de materiales.

Otro objetivo es el aprovechamiento volumétrico y superficial, eliminando áreas ociosas y reduciendo recorridos innecesarios entre estaciones. Finalmente, una distribución estratégica mitiga la saturación de las líneas de producción, garantizando un entorno organizado que favorece la celebración en la fabricación y reduce la confusión logística dentro de la planta.

2.2.3 Importancia de la distribución de plantas

Según Tineo y González (2016), sostienen que la organización de los elementos productivos en un espacio determinado es fundamental para el éxito operativo. Esta metodología permite adaptar los recursos físicos a las necesidades del proceso, sin importar si las dimensiones del área han sido definidas previamente.

2.2.4 Layout de instalaciones industriales

En el diseño de instalaciones industriales, la configuración debe responder a criterios que optimicen los recursos. Según Sharma (2005), los objetivos principales destacan la optimización logística, orientada a reducir la frecuencia, el tiempo y los costos asociados al manejo de materiales, así como la eficiencia financiera, que busca minimizar tanto inicial como los gastos operativos de la infraestructura.

De igual manera, el diseño de priorizar la compresión de los ciclos de producción y el aprovechamiento volumétrico del espacio de forma rentable. Es imperativo que la distribución garantice condiciones ergonómicas y de seguridad industrial, cumpla estrictamente con los marcos legales y ambientales, y posea la flexibilidad necesaria para adaptarse a futuras variaciones en la demanda o tecnología, facilitando en última instancia la gestión administrativa y la toma de decisiones.

Para la consecución de estos objetivos, el diseño se fundamenta en dos principios métricos. Por un lado, se encuentra los criterios de adyacencia, que buscan maximizar la cercanía entre departamentos con alta interacción (punto 1 al 12). Por otro lado, están los criterios de distancia, orientados específicamente a reducir trayectos físicos para optimizar tiempos y costos y en la distancia (punto 1 al 5).

Por otra parte, para resolver un Problema de Planificación de Layout Industrial (PPLI), es crucial definir el modelo de representación de las soluciones. Al respecto Saracho (2015) señala que el layout por bloques es una de las metodologías más utilizadas, pues permite determinar la ubicación relativa y el dimensionamiento de las áreas. Estas representaciones pueden ejecutarse de forma discreta o continua.

La resolución de un PPLI puede evolucionar hacia un layout detallado. Este nivel de diseño profundiza en la estructuración de corredores logísticos, la ubicación exacta de los muelles de carga y descarga, y la organización interna de cada sección. Este proceso incluye el análisis de configuraciones de flujo, la disposición técnica de las maquinarias de equipamiento es un factor para la fluidez del proceso.

La configuración del layout incluye problemas de layout de líneas de flujo, problemas de layout de máquinas y problemas de diseño de células de fabricación, en donde se considera que las máquinas son de igual área y de dimensiones fijas.

2.2.5 Principios básicos de distribución en planta (layout)

La metodología SLP constituye un estándar en la ingeniería industrial para la organización de áreas de trabajo, caracterizándose por el uso de herramientas visuales y diagnóstica para evaluar interacciones entre departamentos. (Rodríguez et al., 2016).

Su estructura operativa recorre cuatro fases empezando desde la selección estrategia del sitio y la estructuración del flujo macro, hasta la precisión técnica del layout y la puesta en marcha física. Este sistema garantiza una transición lógica entre la teoría del diseño y la realidad operativa de la planta.

2.2.6 La distribución en nueva planta frente a la reordenación de una planta existente

A medida que una industria evoluciona, aparecen disparidades operativas que exigen intervenciones en su diseño físico. De acuerdo a Anacona et al.(2022), estos requerimientos de rediseño pueden variar en complejidad desde ajustes tácticos en la secuencia de tareas o la actualización de los mecanismos de transporte interno y servicios de apoyo, hasta las necesidades de mitigar las operaciones hacia un emplazamiento totalmente nuevo.

La planificación de espacios industriales requiere un análisis de las metas operativas para mitigar conflictos de intereses en la cadena de valor. Con el tiempo, el crecimiento de la empresa y las presiones del mercado provocan que el layout original resulte insuficiente marcando el inicio de un proceso de redistribución.

La decisión de intervenir físicamente la planta se fundamenta en la necesidad de responder en tres cambios sustanciales:

- Variación en el volumen de la producción
- Evolución en los procesos tecnológicos
- Modificación en las especificaciones del producto.

La decisión de reestructura la configuración de planta productiva no responde a un cronograma fijo, sino a la necesidad dinámica de la operación, pudiendo ejecutarse de forma continua o intermitente.

La necesidad de este cambio se manifiesta mediante síntomas de ineficiencia, destacando el bloque de flujos por acumulación de materiales y desaprovechamiento del espacio físico. Otros factores determinantes incluyen recorridos logísticos demasiado largos y un desequilibrio en la carga de trabajo que genera ociosidad en ciertos puntos. Además, un entorno físico deficiente impacta negativamente en la psicología del trabajador y en la seguridad industrial, dificultando la supervisión efectiva de las actividades diarias.

2.2.7 Moore y Apple realizan una enumeración de posibles causas

La degradación de la eficiencia de una planta, bajo el análisis de Moore y Apple, responden a categorías específicas obsolescencia de una distribución actual.

- Evolución de productos, nuevos lanzamientos y variaciones en la demanda del mercado.
- Equipos obsoletos y métodos de trabajo anticuados
- Elevada tasa de accidental
- Entornos laborales que incumplen normas ergonómicas
- Desplazamiento de los puntos de venta

2.2.8 Tipos de Distribución

Para la arquitectura industrial se rigen tres modalidades de distribución que Díaz (2014) identifica según la dinámica operativa:

- **Producto:** Se debe verificar desde una pieza única hasta piezas totalmente estandarizadas
- **Cantidad:** Orientado a la magnitud del volumen requerido
- **Proceso Productivo:** Orientado a proyectos específicos o a proceso de fabricación continua

2.2.9 Tipos de Layout Basados en el Flujo

Las configuraciones de planta suelen clasificarse atendiendo a la metodología de transformación empleada, ya sea para la alteración física de materiales o para la prestación de servicios específicos. Según el enfoque de González (2005), la selección de un diseño del layout esta intrínsecamente ligada al flujo operativo, el cual se define a partir de características del producto y la secuencia de trabajo.

Ejemplos representativos de esta modalidad varía drásticamente según a escala del producto. En proyectos singulares de gran tamaño, la localización de los recursos es variable y se ajusta al progreso de la obra. En cambio, para la fabricación en serie de bienes homogéneos, prevalecen la configuración por producto. Bajo este modelo, las estaciones de trabajo se disponen de forma consecutiva, replicando el flujo físico de la producción.

Según Khoshnevisan et al. (2003), la distribución por grupos se basa en la creación de células de manufactura independientes, donde maquinarias diversas se coordina para producir familias específicas de partes frecuentemente automatizadas para el manejo de piezas. La estrategia prioriza completar el procedimiento del producto dentro de la célula antes de su despacho a los centros de montaje, lo que disminuye drásticamente el inventario en procesos y cuellos de botella.

La distribución funcional se caracteriza por la congregación de máquinas con capacidades operativas análogas en unidades departamentales específicas. Aunque este modelo facilita la supervisión técnica y la flexibilidad productiva. Debido a cada producto sigue una

secuencia única, se origina un flujo de materiales intermitentes y voluminoso que recorre gran parte de las instalaciones antes de ser finalizada.

2.2.10 Principios que deben cumplir las distribuciones.

Según Muther y Hales (1950), la eficacia de una distribución en planta se alcanza cuando se cumplen objetivos específicos articulados como principios de diseño. Esta metodología permite enfrentar la complejidad de la organización espacial de manera lógica y secuencial, garantizando que el diseño final no sea productos al azar, sino de un análisis riguroso.

1. **Principio de la integración de conjunto:** debe integrar elementos esenciales como operarios, materiales, maquinaria.
2. **Principio de la mínima distancia recorrida:** debe priorizar que los materiales se desplacen lo menos posible entre operaciones, optimizando así los tiempos de flujo.
3. **Principio de la circulación o flujo de materiales:** es aquella donde las estaciones de trabajo siguen el mismo orden lógico de fabricación, permitiendo que los materiales avancen de forma secuencia y retrocesos.
4. **Principio del espacio cúbico:** implica no dejar espacios muertos, es fundamental utilizar la totalidad del volumen disponible tanto área horizontal y vertical.
5. **Principio de la satisfacción y de la seguridad:** es aquel que prioriza un entorno laboral seguro, garantizando la integridad tanto personal como de los insumos y equipo técnico.
6. **Principio de la flexibilidad:** sirve como hoja de ruta para establecer metas de diseño y como estándar para verificar que si es espacio esta optimizado.

2.2.11 Planificación Sistemática del Layout (SLP)

El método SLP, propuesto por Richar Muter en 1961, constituye el estándar más utilizado para reorganizar plantas industriales bajo criterios cualitativos. Su diseño sistemático permite aplicar tanto en nuevos proyectos como en la optimización de instalaciones en funcionamiento.

Estructuralmente, se divide en cuatro fases dinámicas, destaca la importancia operativa de las fases de distribución General (II) y Detallada (III), las cuales se desarrollan mediante un proceso riguroso de tres etapas y once pasos específicos (Rodríguez et al., 2016).

Fase de Desarrollo

Fase 1: Localización

Para Álvarez et al.(2022), el lugar donde se asienta una industria es determinante para su capacidad competitiva. Esta decisión se basa en el análisis de costos de transporte, disponible de talento humano, comportamiento del mercado y merco legal. Ante este desafío

las empresas suelen optar por una de tres variables la competitividad, cuya elección depende de variables de la demanda, costos logísticos, mano de obra y normas vigentes.

Fase II: Distribución General

Según Castillo et al. (2021), establece que la planificación debe evolucionar desde una visión global hacia detalles operativos. este cambio recorre en 11 etapas, comenzando por el diagnóstico P-Q para clasificar la producción. al combinar el flujo de insumos con el análisis de actividades, se obtiene el diagrama relacional, el cual permite establecer con precisión que departamentos debe estar juntos para maximizar la eficiencia.

El siguiente paso consiste en equilibrar la demanda de espacio con la disponibilidad del inmueble, creando así una síntesis espacial. Durante el diseño, se integran las limitaciones prácticas y variables externas. Finalmente, se evalúan las distintas propuestas para seleccionar aquella que mejor responda a los objetivos de productividad y flujo de la organización.

Fase III: Distribución

Una vez definida la estructura global en la Fase II, es necesario reevaluar el problema desde una perspectiva micro, esta etapa consiste en localizar zonas de específicas que requieren mayor atención y determinar si la información previa es suficiente o si requiere una investigación más profunda. Así, se replican 11 pasos del método, pero esta vez aplicándose a los elementos y estaciones de trabajo de cada área. (González , 2005).

Fase IV: Instalación

Tras definir la propuesta de diseño, es fundamental obtener el visto bueno de la dirección antes de iniciar cualquier modificación física o traslado de equipos. Para facilitar este proceso de aprobación Meneses (2025) sugiere el uso de herramientas como simulaciones 3d o maquetas a escala, las cuales representan una alternativa accesible y efectiva para proyectar con precisión la distribución final.

2.2.12 Pasos para aplicación del SLP

Paso 1. Análisis producto-cantidad

El análisis P -Q define el tipo de distribución según la demanda y el volumen de producción. Según Muther (1950), ante una alta variedad de artículos, es necesario agrupar en familias cuyos procesos sean similares para optimizar el flujo y mejorar la precisión de las proyecciones. Metodológicamente, se emplea un gráfico de barras decreciente donde el eje X representa los productos y el eje Y las cantidades, La curva permite elegir técnicamente entre una distribución por producto o proceso.

Paso 2. Análisis del recorrido de los productos (flujo de producción)

Para Amoroso (2006), este análisis determina la secuencia y la cantidad de los movimientos de los productos por las diferentes operaciones durante su procesado. Utilizando la información de los procesos y volúmenes de producción se elaboran gráficas y diagramas descriptivos del flujo de materiales. Entre los instrumentos más utilizados destacan el diagrama OTIDA, los diagramas de hilos y de acoplamiento.

De estos diagramas no se desprende una distribución en planta, pero sin dudas proporcionan un punto de partida para su planteamiento. No resulta difícil a partir de ellos establecer puestos de trabajo, líneas de montaje principales y secundarias, y áreas de almacenamiento.

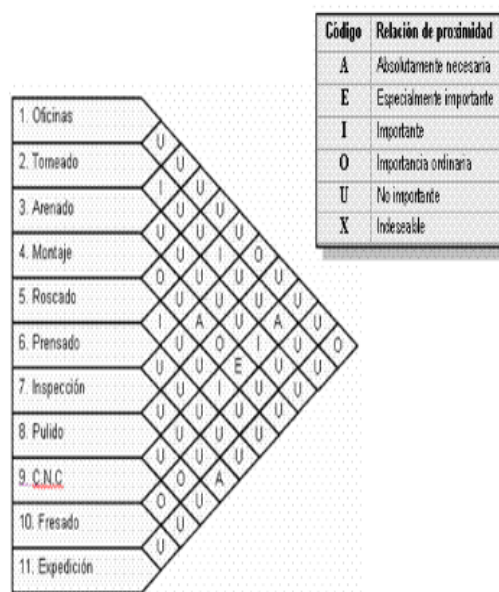
Paso 3. Análisis de las relaciones entre actividades

Este análisis evalúa la interacción entre áreas productivas, servicios auxiliares y sistemas de control, considerando que la proximidad no siempre depende del flujo de materiales, sino de factores ambientales, de seguridad. Su objetivo es integrar racionalmente los medios de soporte en el diseño global de la planta.

Para representar las relaciones encontradas de una manera lógica y que permita clasificar la intensidad de dichas relaciones, se emplea la tabla relacional de actividades, consistente en un diagrama de doble entrada. Es habitual expresar estas necesidades mediante un código de letras, siguiendo una escala que decrece con el orden de las cinco vocales: A (absolutamente necesaria), E (especialmente importante), I (importante), O (importancia ordinaria) y U (no importante); la indeseabilidad se representa por la letra X. (Agudelo et al., 2022).

Figura 1

Tabla de relación de actividades



Nota: La figura representa la tabla relacional de actividades. Tomado de Vallhonrat y Corominas Albert. Localización Distribución en Planta y Manutención, 1991

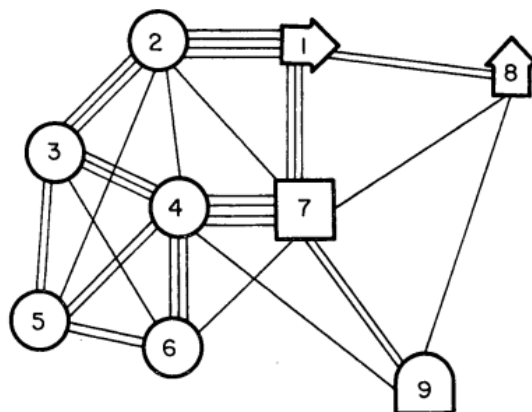
Paso 4. Desarrollo del Diagrama Relacional de Actividades

El diagrama de relaciones de actividades sintetiza la información sobre la interacción y la necesidad de cercanía entre las distintas tareas de la planta. Su propósito es establecer un ordenamiento lógico o topográfico basado en la información disponible. En esta etapa, el esquema se representa de forma abstracta, por lo que los departamentos aun no tienen dimensiones físicas ni formas geométricas definidas.

El diagrama se visualiza como una red donde los nodos (actividades) se conecta mediante líneas que indican el nivel de cercanía requerido, según la escala (A, E, I, O, U, X). El diseño se perfecciona mediante un proceso iterativo de ensayo y error, cuyo objetivo es reducir al máximo el cruce de líneas. Se prioriza que las conexiones de mayor intensidad sean directas y libres de obstrucciones para garantizar un flujo eficiente.

Figura 2

Diagrama de relación de actividades



Nota: La figura representa el diagrama de relación de actividades. Extraída de Hallan. Planificación y proyección de la empresa industrial, (1968)

Paso 5. Análisis de necesidades y disponibilidad de espacios

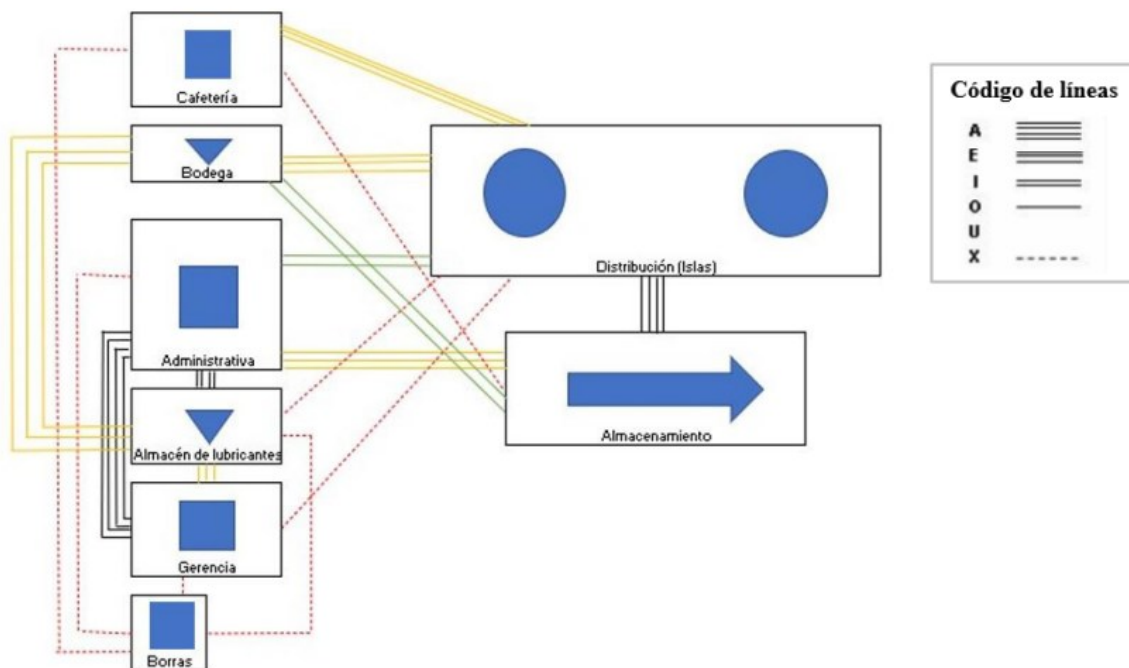
Para Castañeda (2023), una vez establecida las conexiones entre departamentos, el siguiente paso es definir las dimensiones y la forma que requiere cada proceso. El diseñador debe emplear métodos de cálculo específico para proyectar el espacio que cada tarea necesita. Finalmente, estas estimaciones teóricas deben validarse frente a la superficie real disponible en la infraestructura.

Paso 6. Desarrollo del Diagrama Relacional de Espacios

El Diagrama Relacional de Espacios guarda una estructura similar al de actividades, pero a con ciertas diferencias los símbolos de cada sector se dibujan a escala. De este modo, la superficie visual de cada nodo es directamente proporcional al metraje real requerido para ejecutar dicha operación.

Figura 3

Diagrama relacional de espacios con indicación del área requerida por actividad



Nota. La figura representa el diagrama relacional de espacios. Tomada de Charris et al. Aplicación del Método Systematic Layout Planing (SLP) en Una Estacion de Servicios de Puerto Colombia, (2023)

Paso 7. Evaluación de las alternativas de distribución de conjunto y selección de la mejor distribución

Una vez desarrolladas las soluciones, hay que seleccionar una de ellas, para lo que es necesario realizar una evaluación de las propuestas, lo que nos pone en presencia de un problema de decisión multicriterio. La evaluación de los planes alternativos determinará que propuestas ofrecen la mejor distribución en planta.

2.2.13 Modelado matemático para problemas de distribución

Características del problema

La configuración espacial de las unidades productivas, tales como estaciones de trabajo o departamentos, constituyen un factor crítico en la eficiencia operativa. De acuerdo con el planteamiento clásico, este desafío se modela mediante un Problema Cuadrático de Asignación (QAP), cuya premisa simplificada asume la homogeneidad de las áreas industriales (Lawler, 1963).

El diseño de instalaciones busca estructurar la ubicación de maquinarias y áreas de servicio de modo que se minimicen los gastos derivados del manejo de materiales. La relevancia de este problema radica en su peso dentro de la cadena de valor se estima que hasta el 50% de las actividades de fabricación corresponden exclusivamente al traslado de insumos. Por ello, la correcta distribución en planta no solo es un tema de orden, sino una herramienta clave para el control de los costos de producción.

La optimización del diseño de instalaciones se rige fundamentalmente por dos dimensiones cuantitativa y cualitativa. En este ámbito operativo, la valoración de estas configuraciones no suele realizarse de formas simultáneas; por el contrario, predomina un enfoque independiente donde cada criterio se aplica de manera sucesiva para determinar la viabilidad de la distribución propuesta.

Tipos de problemas

La clasificación de los problemas de diseño de planta según los planteamientos de Hassan (1994), se divide esencialmente en:

1. El diseño de proyectos industriales
2. Disposición de maquinarias, el autor identifica tres configuraciones geométricas fundamentales para el flujo de trabajo:
 - a. problemas de distribución basadas en una secuencia lineal simple
 - b. problemas de distribución basadas en sistemas de líneas múltiples
 - c. problemas de distribución de sistemas en bucle o lazo

Figura 4

Tipo de problemas de distribución de planta

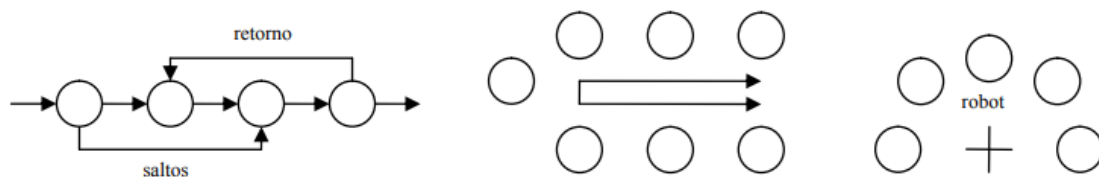
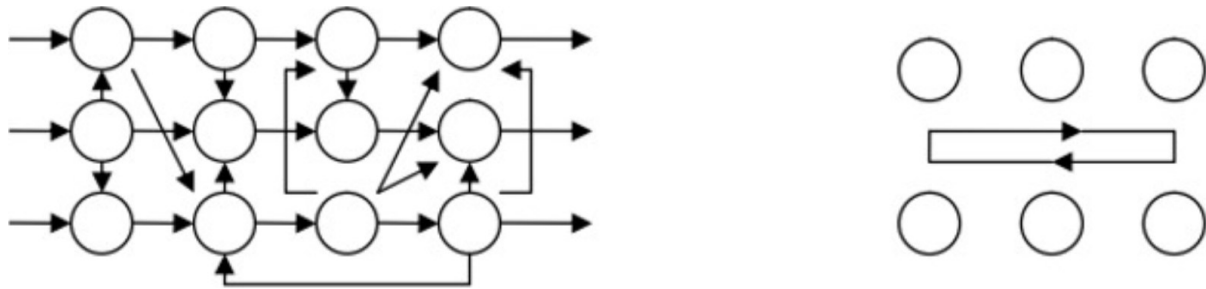


Figura 5

Tipo de problemas de distribución de planta



Nota: la figura representa los distintos tipos de distribución de planta. La primera figura tiene una distribución de tipo líneas, la segunda es en forma de U. Finalmente la tercera tiene una distribución semicircular.

2.2.14 Modelado matemático para problemas de distribución en planta

El problema de la distribución en planta sugiere que la optimización de espacios industriales puede estructurarse mediante distintos enfoques matemáticos. Siguiendo estos principios de Hitchings y Cottam (1976), la base de este desafío reside en la localización estratégica, utilizando el problema de asignación cuadrática como base para determinar la ubicación ideal de cada unidad en función de una meta específica. Dentro de este marco las metodologías más recurrentes para abordar la disposición de plantas incluyen:

Los problemas de distribución en planta de instalación han sido modelados como:

- a) Modelos de asignación cuadrática
- b) Recubrimiento de conjuntos con naturaleza cuadrática
- c) Algoritmos de programación lineal entera
- d) Algoritmos de programación entera mixta
- e) Aplicación basados en la teoría de grafos para la conectividad de nodos

2.2.15 Modelo cuadrático de asignaciones

El Problema de la Asignación Cuadrática (QAP) se remonta originalmente a los trabajos de Beckmann y Koopmans (1957), quienes propusieron como una solución formal modelar un problema de localización de instalaciones. Debido a su complejidad, se ha consolidado como un eje central dentro de la optimización combinatoria, siendo adoptado por la comunidad científica para modelar múltiples problemas de optimización.

En esencia, el QAP busca la distribución más eficiente de un conjunto n de unidades operativas en un número igual de localizaciones, orientadas a reducir los costos de logística interna. Dicha minimización se calcula a través del producto escalar entre la intensidad del flujo de materiales y las distancias recorridas.

Debido a la elevada demanda computacional que implica hallar soluciones exactas en periodos de tiempo aceptables, la literatura sugiere el empleo de métodos aproximado. En este contexto se ha recurrido a la técnica de asignación relativa computarizada de instalaciones (Craft), la cual se categoriza dentro de los algoritmos de naturaleza heurística (Kudelska, 2012).

En este enfoque permite abordar el problema de asignación cuadrática mediante la disposición de un conjunto de centros operativos en sitios específicos, buscando reducir el gasto global derivado de la interacción entre el flujo y la distancia. La manera más común de plantear el problema de forma combinatoria matemáticamente es esta:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n F_{ij} D_{p(i)(j)} \quad (1)$$

Donde F y D son las matrices de flujos y distancias de tamaño $n \times n$, cuyos índices i, j , en la matriz representan el flujo entre las entidades de i a j y, a su vez, los mismos índices i, j para la matriz de distancias representan las distancias entre las localidades i y j . El vector p es una permutación de números $\{1, 2, \dots, n\}$ siendo $p(j)$ la localización, donde la entidad j es asignada. Las matrices de flujo F_{ij} y las distancias D_{kl} si son simétricas, cumplen que $F_{ij} = F_{ji}$ y $D_{kl} = D_{lk}$, además $F_{ij} = 0$ y $D_{kl} = 0$, para $i = j$, entonces podemos escribir las instancias de datos en una sola matriz que compacte F y D.

El abordaje del QAP se divide principalmente en metodologías exactas y aproximadas. Dentro de las primeras, el algoritmo de ramificaciones y acotamiento (Branch and Bound) destaca como una de las técnicas más empleadas. No obstante, dada la naturaleza compleja del problema, la eficiencia temporal ha impulsado el uso de estrategias heurísticas. Si bien estos métodos no garantizan el hallazgo del óptimo global, permite obtener soluciones satisfactorias y competitivas bajo restricciones de tiempo computacional manejables.

Según Zaied y Shawky (2024), las heurísticas para abordar el QAP se dividen en cinco categorías básicas:

1. Métodos de construcción.
2. Métodos de enumeración limitados.
3. Métodos de mejora.
4. Técnicas de recocido simulado.
5. Algoritmos genéticos.

Los algoritmos de construcción operan mediante la generación de soluciones subóptimas a través de la estructuración progresiva de una permutación inicialmente inexistente. Este proceso se desarrolla mediante la incorporación iterativa de elementos, regida por criterios de selección de conjuntos, hasta consolidar una solución final. Entre las herramientas heurísticas de mayor relevancia se destaca CEAF. Este método, diseñado específicamente para la optimización de layout, fue propuesto por primera vez por Armour y Buffa (1994) en 1963.

2.2.16 Algoritmos constructivos de resolución de problemas de distribución en la planta

Un estudio realizado por Moore (1974), indicaba la existencia de dos veces más algoritmos constructivos que algoritmos de mejora los más conocidos algoritmos de construcción son:

- HC66 (Hillier & Connors, 1966)
- ALDEP (Seehof y Evans, 1967),
- CORELAP (Lee & Moore, 1967).

2.2.17 CORELAP

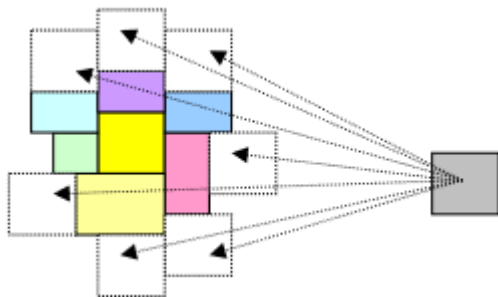
EL método CORELAP (COMputerized RELationship Payet Planning) es un algoritmo constructivo cuyo propósito es la optimización espacial basada en la afinidad funcional. El criterio para establecer la ubicación adecuada de cada una de las siguientes actividades se basa en el Índice de colocación (IC). La ubicación con un mayor IC será la seleccionada. Para una actividad i en una distribución en la que n actividades están ya colocadas el IC se define como:

$$IC_i = \sum_{j=1}^n V(r_{ij}) \cdot L_{ij} \quad (2)$$

siendo $V(r_{ij})$ el peso asociado a la intensidad relacional entre la actividad a ubicar i , y la j ésima de las n ya colocadas, y L_{ij} es la longitud de contorno común a las actividades i y j ésima. Cuando existen varias alternativas con igual puntuación se escoge la más compacta, es decir, la inscrita en un rectángulo con menor área (Más, 2006).

Figura 6

Colocación de actividades en CORELAP



Nota. La grafica es una representación de la interfase del software CORELAP. Fuente. Elaboración Propia

2.2.18 Algoritmos de mejora

Los algoritmos de mejora, se parta de una distribución base creada aleatoriamente para aplicar cambios sistemáticos en la asignación de instalaciones. El algoritmo guarda únicamente aquellas variaciones que optimizan la respuesta, finalizando el proceso cuando la solución se estabiliza. Como señala Ketcham et al.(1989), existe una correlación directa entre la calidad de la solución inicial y el éxito del algoritmo de mejora.

A continuación, se cita al algoritmo de mejora más conocido:

1. CRAFT (Armour & Buffa, 1963)

El uso de algoritmos computacionales como CRAFT, ALDEP y CORELAP ha sido fundamental para el desarrollo y validación de distribuciones experimentales. Más allá de estos algoritmos clásicos, se han integrado otros modelos de decisiones multicriterio; Cambron y Evans (1991), presentaron la aplicación del método analítico jerárquico de Saaty a un problema para encontrar una distribución para impresión comercial y encuadernación. Así mismo la investigación ha avanzado a escenarios más complejos, como lo demuestra Lacksonen (1997), un modelo y un algoritmo de mejora para la solución del problema de distribución en planta de instalaciones dinámico con áreas diferentes.

2.2.19 Método CRAFT

CRAFT (Computerized Relative Allocation of Facilities Technique), desarrollada originalmente por Armour y Buffa en 1963, es el primer software diseñado para la automatización de la distribución de plantas industriales. El algoritmo se fundamenta su análisis en la determinación de los centroides de cada unidad operativa para calcular las distancias intermodales. A partir de esos datos, establece un presupuesto inicial del diseño, el cual se deriva matemáticamente del producto escalar entre los flujos de materiales y las distancias proyectadas entre las instalaciones.

El proceso iterativo de CRAFT se basa en la selección del intercambio de localidades que garantice la máxima disminución en los gastos operativos, finalizando su ejecución cuando se alcanza un óptimo local. No obstante, el algoritmo presenta una restricción estructural el cambio de posiciones entre departamentos solo es factible si estos poseen una extensión superficial idéntica o si comparten una frontera común adyacente. Desde esta perspectiva matemática, el costo logístico se establece mediante el producto de la carga unitaria movilizada entre el origen i y el destino j , multiplicada por métricas de distancia que separa a ambas unidades.

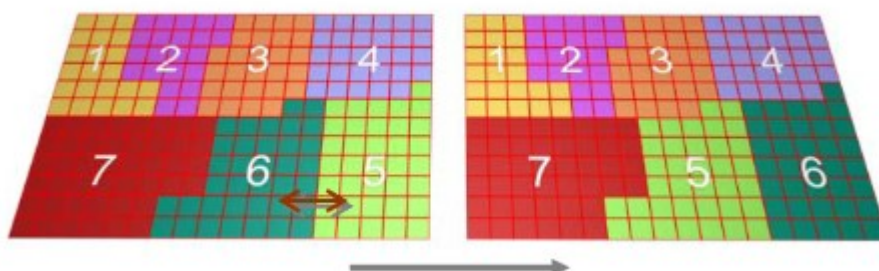
$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Y_{ij} L_{ij} \quad (3)$$

Donde: n = cantidad de departamentos, Y_{ij} = costo de mover una carga unitaria del departamento i al j , L_{ij} = distancia que separa los departamentos i y j , que están dadas por la métrica rectilínea. U_{ij} = costo de mover una unidad de un departamento i a j , V_{ij} = número de unidades a mover del departamento i a j . De manera que $Y_{ij} = U_{ij} * V_{ij}$ es el costo del flujo de i a j .

Desde la perspectiva de la optimización combinatoria, método CRAFT opera bajo supuestos específicos que rigen su función objetivo. En primer lugar, establece que los costos de manejo de materiales son proporcionales a la distancia recorrida, normaliza los flujos de trabajo situados sus puntos de origen y destinos en los centros geométricos de los departamentos. Las limitaciones operativas más relevante, señalada por Más (2006), es la restricciones de los intercambios solo es posibles rotar actividades si existen homogeneidad de área o adyacencia física. Este proceso iterativo busca sistemáticamente el mayor ahorro es posible e la estructura del costo del layout.

Figura 7

Intercambio de dos actividades en CRAFT



Nota: La figura presentada es una representación del intercambio entre actividades. Fuente Saracho. Metodología para la optimización del diseño de distribución en plantas industriales, 2015.

2.2.20 Generación de layouts por computadoras

Los Métodos Analíticos de Generación de Layouts (MGL) comprenden un espectro de herramientas técnicas diseñadas para asistir al proyectista en la identificación de configuraciones espaciales óptimas, fundamentada mayoritariamente en la metodología SLP de Lee y Moore (1967). Estos métodos se subdividen en función de su enfoque algorítmico. Por un lado, los métodos constructivos (MCL) generan propuestas integrando la información de entrada de manera sistemática.

Por otro lado, los métodos de refinamientos de mejora (MML) parte de un diseño inicial para incrementar su eficiencia, evaluando constantemente criterios de rentabilidad relacionados con el flujo de, materiales y la manutención interna.

2.2.21 WinQSB

WinQSB se define como un sistema interactivo diseñado para el soporte en la toma de decisiones, integrando una arquitectura modular especializada en la resolución de desafíos propios de la investigación operativa. Cada módulo del software está orientado a un modelo matemático específico, permitiendo abordar problemáticas empresariales mediante la aplicación de algoritmos exactos y heurísticos. Esta facilita la simulación de escenarios corporativos complejos y la resolución de variables cuantitativas críticas para la organización.

2.2.22 Indicadores para el problema de distribución en planta

Cualitativos. Son aquellos parámetros que carecen de una base de medición física o geométrica directa. Su valoración depende intrínsecamente de la interpretación subjetiva y las escalas estimativas proporcionadas por especialmente o evaluadores extremos

Cuantitativos. Se definen como métricas derivadas de las propiedades físicas y especiales de la configuración de bloques. La relevancia de estos parámetros radica en su capacidad para ser procesados de forma autónoma por sistemas informáticos. Al permitir una extracción de datos inmediata sobre la propuesta de diseño, estos indicadores facilitan la integración de ciclos de optimización automatizados, reduciendo la intervención manual y aumentando la precisión en la búsqueda de la solución.

Indicadores Cualitativos. Tradicionalmente el uso de indicadores cualitativos en la planificación ha permitido históricamente considerar objetivos que escapan a la medición física directa. Su aplicación depende de un panel de evaluación que define órdenes de prioridad entre las actividades, vinculando cada calificación cualitativa con coeficiente numérico para facilitar la síntesis de los resultados. Este mecanismo de cuantificación de la subjetividad es esencial para la fase de diagnóstico en modelos de distribución. Entre los indicadores más importantes de este tipo podemos citar:

Índice de cercanía (Closeness Rating). Designado frecuentemente CR_{ij} o rij , constituye el indicador fundamental en la planeación de instalaciones. Este parámetro se deriva de la tabla relacional de actividades, una matriz diagonal donde se evalúa la necesidad de adyacencia entre unidades operativas desde diversas dimensiones. Las valoraciones se rigen por la Muther, que oscilan entre A (absolutamente importante) y U (no importante), y generalmente se emplea la X para proximidades contraindicadas

En propuestas contemporáneas, como la de Azadeh y Moradi (2014), este índice evoluciona hacia una métrica agregada. Mediante el uso del proceso de análisis jerárquico y funciones de normalización, se integran subcriterios como seguridad, nivel de ruido, flexibilidad, estética condiciones térmicas y el inventario en proceso. Este enfoque emplea, además, lógica borrosa para mitigar la subjetividad y determinación con mayor precisión el valor de cercanía entre las actividades.

Flexibilidad. Constituye un indicador determinante en la planeación de instalaciones, alineándose con los principios fundamentales de Muther sobre la adaptabilidad del diseño. Una de las aproximaciones metodológicas para su cuantificación, propuesta por Dessens (2023), consiste en la proyección de múltiples matrices de flujo que simulan variaciones en la demanda de la mezcla de productos. Bajo este enfoque, la configuración espacial reporta el menor costo de manejo de materiales a través de los diversos escenarios prospectivos es considerado la de mayor flexibilidad, garantizando una respuesta eficiente ante la incertidumbre del mercado

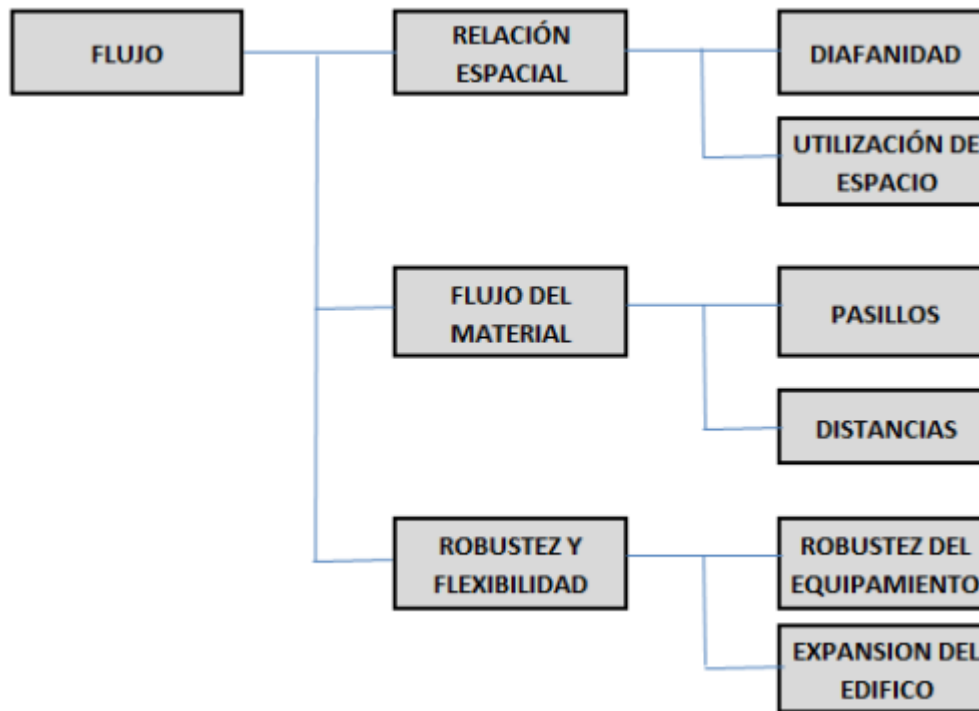
Indicadores Cuantitativos

Si bien los parámetros cualitativos ofrecen una perspectiva fundamental para el diseño de instalaciones, la inclusión de variables medibles resulta indispensable para fortalecer el proceso de toma de decisiones. Los indicadores cuantitativos proporcionan métricas exactas sobre el desempeño de una configuración, facilitando el uso de algoritmos heurísticos para la búsqueda de soluciones superiores a las existentes. De acuerdo a lo establecido por Wu y Appleton (2002), estas métricas pueden agruparse en tres dimensiones el primer indicador es de flujo, parámetros geométricos y niveles de aprovechamiento de superficie.

Indicadores de Flujo. Las variables de flujo permiten medir de forma cuantitativa y la viabilidad técnica de un layout. Aunque los flujos de personal y equipos son esenciales para la seguridad y la ergonomía, el transporte de materiales es el eje principal de análisis por una repercusión económica directa. Esta componente logística puede medirse también en unidades de tiempo, incorporando las capacidades del equipo de transporte seleccionado. Al ser métricas que valoran el conjunto de la planta de manera integral, permiten establecer comparativas objetivas.

La minimización del costo de transporte interno constituye el eje central en el problema de distribución en planta como en el QAP. Aunque más que un indicador aislado representa una métrica global de la viabilidad financiera del diseño, su relevancia es crítica; tal como señalan Tompkins y Reed (1963), el manejo interno de materiales pueden llegar a representar entre el 20% y el 50% de los costos totales de manufactura. Por consiguiente, los modelos multiobjetivo en la literatura priorizan de forma unánime el costo del manejo de materiales o la intensidad del flujo como función primaria.

Figura 8
Indicadores de flujo



Nota: la siguiente figura representa los indicadores de flujo. Fuente. (Lin & Wang, 2019)

Diafanidad. Según Lin y Wang (2019), se define como la proporción de la superficie en la planta industrial que se encuentra exenta de obstáculos arquitectónicos o constructivos que pueden comprometer la flexibilidad y la eficiencia del diseño general, se identifica tres elementos críticos que limitan este indicador espacial estas son paredes divisoras, columnas de soporte, escaleras y elevadores. En el ámbito del diseño de instalaciones se reconoce que una de las principales causas del desperdicio de área útil y de las ineficiencias logísticas radica en el emplazamiento inadecuado de estos componentes estructurales fijos, las cuales actúan como restricciones físicas permanentes en la asignación de espacios.

Las cuestiones dignas de consideración en el desarrollo del indicador de diafanidad son:

- Existencia de tabiques o pilares.
- Número de tabiques y pilares.
- Localización y tamaño de los tabiques y pilares.
- Factor de forma de cada subárea

2.2.22 Utilización y suficiencia espacial

Según Lin & Sharp (1999), este criterio, recogen dos aspectos de interés en el problema:

El primer aspecto se orienta a garantizar una dotación espacial idónea para cada centro de trabajo denominado Space Sufficiency. El segundo enfoque se evalúa cuantitativamente la eficiencia en el uso de la superficie tanto bidimensional como tridimensional, con el propósito de diagnosticar escenarios de sobreutilización o volumétrica de la infraestructura.

Los pasillos que se colocan en el layout de detalle y que pueden ser dispuestos libremente sin las ataduras del edificio. Solo se tienen en cuenta los pasillos de cierta entidad. Se definen 6 objetivos en el sistema de implantación de los pasillos, con los que se calcula el indicador:

- Área servida por el pasillo
- Facilidad de acceso
- Rutas alternativas
- Intersecciones
- Forma de la actividad

2.2.24 Glosario de términos

Productividad

Es la relación entre la cantidad de productos obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción.

Redistribución

Es un concepto relacionado con la disposición de las máquinas, los departamentos, las estaciones de trabajo, las áreas de almacenamiento, los pasillos y los espacios comunes dentro de una instalación productiva propuesta o ya existente.

Layout

Suele utilizarse para nombrar al esquema de distribución de los elementos dentro un diseño.

Estación de trabajo

Es un espacio físico, o un sistema informático de alto rendimiento, diseñado para que los empleados realicen sus tareas de manera eficiente y cómoda.

SLP

Es una metodología para planificar la distribución física de una planta o empresa, cuyo objetivo es optimizar la eficiencia y la productividad.

CORELAP

Es un algoritmo utilizado en la planificación y el diseño de la distribución de plantas para optimizar la ubicación de los departamentos.

CAPITULO III. METODOLOGIA

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

Descriptiva aplicada

Reúne las condiciones metodológicas de una investigación descriptiva y aplicada partiendo de hechos particulares respecto a las metodologías Systematic Layout Planning y Problema de asignación Cuadrática (QAs,P) con el fin de determinar la distribución de planta de adecuada para el proceso a analizar.

3.1.2 Diseño de la investigación

El método de investigación realizado será el trabajo de Campo porque el estudio se lo va a realizar en el área de producción para lo cual se recolectará datos el cual sin manipular o

controlar variable alguna. mediante la técnica de observación directa se realizará la toma de tiempos y movimientos del proceso y de esta manera poder detallar y establecer cuáles son las características y problemáticas que se tienen actualmente, así mismo poder conocer cuáles son las entradas, salidas, recursos, herramientas y variables de este.

3.1.3 Nivel de investigación

De acuerdo al problema referido de realizar un proceso de Diseño y Redistribución de planta que permitirá tener en la empresa el máximo aprovechamiento de toda la infraestructura disponible y que contribuya a la eficiencia de su proceso productivo, será empleada la investigación Descriptiva la cual consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o grupo con el fin de establecer su estructura o comportamiento, por medio de esta se realizara el análisis de todo el proceso productivo de la madera aserrada al igual que todo el flujo de la operación desde recepción de materias primas hasta el almacenamiento y apilado.

3.2 Técnicas de Recolección de datos

Técnicas de recolección de información primaria

Observación

Para Cisneros et al. (2022), es el registro visual de lo que ocurre en una situacional real, clasificando y consignando los acontecimientos pertinentes de acuerdo con algún esquema previsto y según el problema que se estudia. Por medio de este método se observarán los tiempos, movimientos, instrumentos y maquinarias que se utilizan para la producción, y todo el proceso por el cual tiene que pasar para convertirse en producto final.

Entrevista

Según Medina et al. (2023), la entrevista es una forma específica de interacción social que tiene por objeto recolectar datos para una indagación. El investigador formula preguntas a las personas capaces de aportarle datos de interés, estableciendo un diálogo, donde una de las partes busca recoger informaciones y la otra es la fuente de esas informaciones Se entrevistará a los encargados del área de producción, para tener datos más específicos y reales y así poder saber las deficiencias que tiene esta, por la mala distribución de la planta.

Análisis documental

Se consultará datos de la empresa, los archivos de producción, archivos mantenimiento archivos de fichas de las máquinas, la información necesaria y conveniente para la investigación.

Población y Muestra

3.3.1 Población

La población es la empresa que incluye la infraestructura, todos los elementos de producción (7 operarios, 7 maquinarias y materiales)

3.3.2 Muestra

La muestra es no probabilista y se centra en el área de producción que involucra el personal de producción, el área de producción, las máquinas de producción y los flujos de producción.

1.4 Hipótesis

La redistribución de planta en el área de producción de la empresa Aserradero moderno mejorará la productividad.

3.4.1 Hipótesis Nula

La redistribución de planta del área de producción mejora la productividad de la empresa

3.4.2 Hipótesis alternativa

La redistribución de planta del área de producción no mejora la productividad de la empresa

Procedimiento de la Investigación

Se realizará la implementación de dos metodologías, Metodología SLP y el problema de asignación cuadrática (QAP).

Paso 1: Levantamiento de información en el área de producción del Aserradero Moderno para poder identificar el flujo de material que ingresa, esto dará como resultado poder obtener la actual distribución de planta de la empresa.

Como segundo paso se procederá a realizar propuestas de distribución de planta mediante la aplicación de la metodología Planificación Sistemática del Layout (SLP) que consta de los siguientes pasos:

Paso 1: Análisis cantidad- producto

Paso 2: Análisis del recorrido de los productos (flujo de producción)

Paso 3: Análisis de las relaciones entre actividades

Paso 4: Desarrollo del Diagrama Relacional de Actividades

Paso 5: Análisis de necesidades y disponibilidad de espacios

Paso 6: Desarrollo del Diagrama Relacional de Espacios

Paso 7: Evaluación de las alternativas de distribución de conjunto y selección de la mejor distribución se utilizará un algoritmo de tipo constructor denominada CORELAP.

Como tercer paso se realizará las propuestas de redistribución con la metodología “Problema de asignación cuadrática (QAP)” utilizando algoritmos del tipo constructor (WINQSB) los cuales serán evaluadas utilizando métodos de análisis multicriterio tal como el AHP para llegar a determinar la mejor propuesta de distribución de planta.

Finalmente se evaluará las propuestas de ambas metodologías para determinar el layout adecuado las cuales ayudarán a mejorar el proceso productivo y al puesto de trabajo generando una mayor seguridad a los colaboradores de la empresa.

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Redistribución de planta	Factores de la distribución de planta	Factor maquinaria	Tiempo medio entre fallas % de horas ociosas por máquina. %de mantenimiento	Guía de análisis documentario. Guías de observación
		Factor Material	% de materia prima. % de mermas.	Fichas de Evaluación de material que ingresa.
		Factor Hombre	Número de trabajadores por turno. % de horas Hombre de producción % de Tiempo muerto en producción % de mano de obra directa. % de mano de obra indirecta.	Fichas de Evaluación de Operarios Guías de Observación Guías de análisis documentarios
Variable Dependiente	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Productividad	Factores de la productividad	Factor Maquinaria	Frecuencia de innovación de tecnología. % de maquinaria en desuso	Guía de análisis documentario. Fichas de Evaluación de maquinaria.
		Factor material	Rendimiento del material. Control de mermas	Fichas de Evaluación de material. Guías de análisis de documentos

		Factor Hombre	Eficacia. Condición de trabajo y el riesgo de accidentes	Fichas de Evaluación de Operarios Guías de Observación Guías de análisis documentarios
--	--	---------------	--	---

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.Resultados

Para el desarrollo de esta investigación y dar cumplimiento con los objetivos es necesario conocer el estado actual del proceso productivo de la transformación de madera en duelas para ello se basará en herramientas de la ingeniería industrial como el Diagrama de flujo, se desglosarán todas las operaciones, transportes, inspecciones y demoras. Simultáneamente, el Diagrama de Recorrido permitirá visualizar gráficamente el camino real que sigue el material a lo largo de la planta. Esta fase es crucial para cuantificar los recorridos excesivos, los retrocesos y los cruces que actualmente fragmentan el flujo productivo.

4.1.1 Diagnóstico de la situación actual del área de producción

La empresa Aserradero Moderno opera en un área de producción de 300 m², con un equipo de 6 operarios que gestionan 6 maquinarias.

No obstante, la distribución actual del espacio es inadecuada, lo que genera un desorden operativo y un flujo de material discontinuo. Esta falta de organización es la causa principal de las demoras y del aumento en el tiempo de recorrido entre las estaciones de trabajo, afectando directamente la eficiencia y productividad de la planta.

Inventario de maquinaria de la empresa Aserradero Moderno

Tabla 1

Lista de Maquinarias

Maquinaria	Descripción	Descripción técnica	N° maquinarias	Dimensiones (metros)	N° trabajadores
Canteadora	Su función consiste en hacer liso y recto el borde de dos piezas de madera para que se puedan unir para formar superficies de mesa.	Marca: OMIL Modelo: MMXIL Serie: 00186 Año: 2023	2	Largo: 2.15 Ancho: 0.34 Altura: 1.10	2
Sierra de banco	La sierra de mesa funciona como una sierra circular estacionaria que permite cortar	Marca: -- Modelo: -- Serie: --- Año: ----	1	Largo: 1.10 Ancho: 1.13 Altura: 1.01	1

materiales como la madera con precisión, rapidez y versatilidad mediante el movimiento de la pieza sobre una hoja de disco giratorio que sobresale de una mesa.

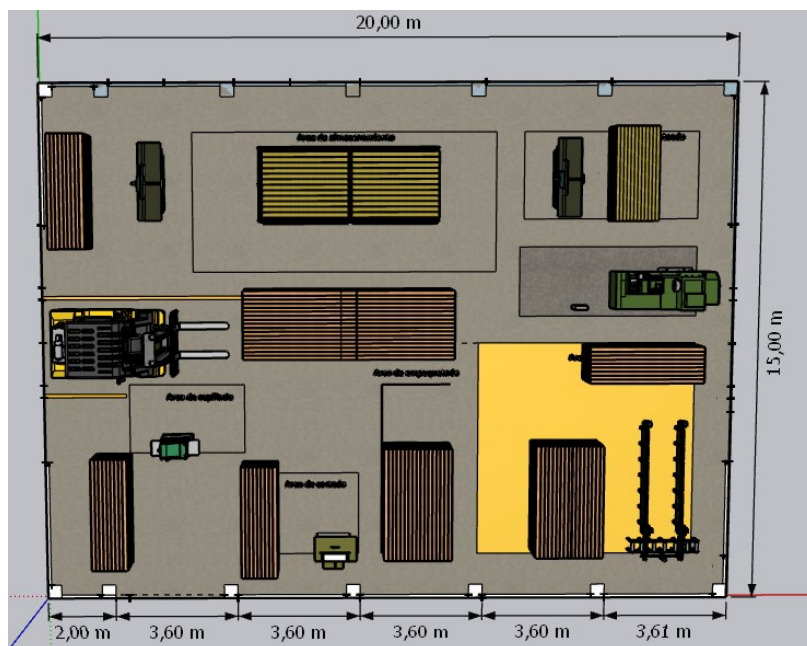
Cepilladora	La función principal de una cepilladora de madera industrial es aplanar, perfilar y dar el espesor deseado a piezas de madera para obtener superficies lisas, uniformes y precisas, adecuadas para la construcción, ebanistería y otros proyectos	Marca: Martínez y Pérez Modelo: -- Serie: --- Año: ----	1	Largo: 1.37 Ancho: 0.85 Altura: 1.30	1
Machimbre	La función principal es crear revestimientos y superficies sólidas y uniformes mediante el ensamblaje de tablas con un sistema de "macho"	Marca: OMIL Modelo: PML-4F Serie: 04-06 Año: ----	1	Largo: 3.86 Ancho: 2.30 Altura: 1.52	1

	(pestaña) y "hembra" (canaleta), que encajan entre sí.				
Despuntadora	La función principal de una despuntadora es eliminar las puntas dañadas o irregulares de las, utilizando discos o cuchillas de sierra para realizar cortes precisos en los extremos.	Marca: -- Modelo: -- Serie: --- Año: ----	1	Largo: 3.86 Ancho: 2.03 Altura: 0.90	1
Total			6		6

Nota: La tabla detalla las características técnicas y dimensionales de la maquinaria utilizada en el área de producción, incluyendo su descripción funcional, especificaciones técnicas, número de unidades, dimensiones físicas y cantidad de operarios asignados. El total considerado corresponde a 6 máquinas y 6 operarios, lo que constituye la base para el diseño del espacio productivo.

Figura 9

Layout de la empresa Aserradero Moderno



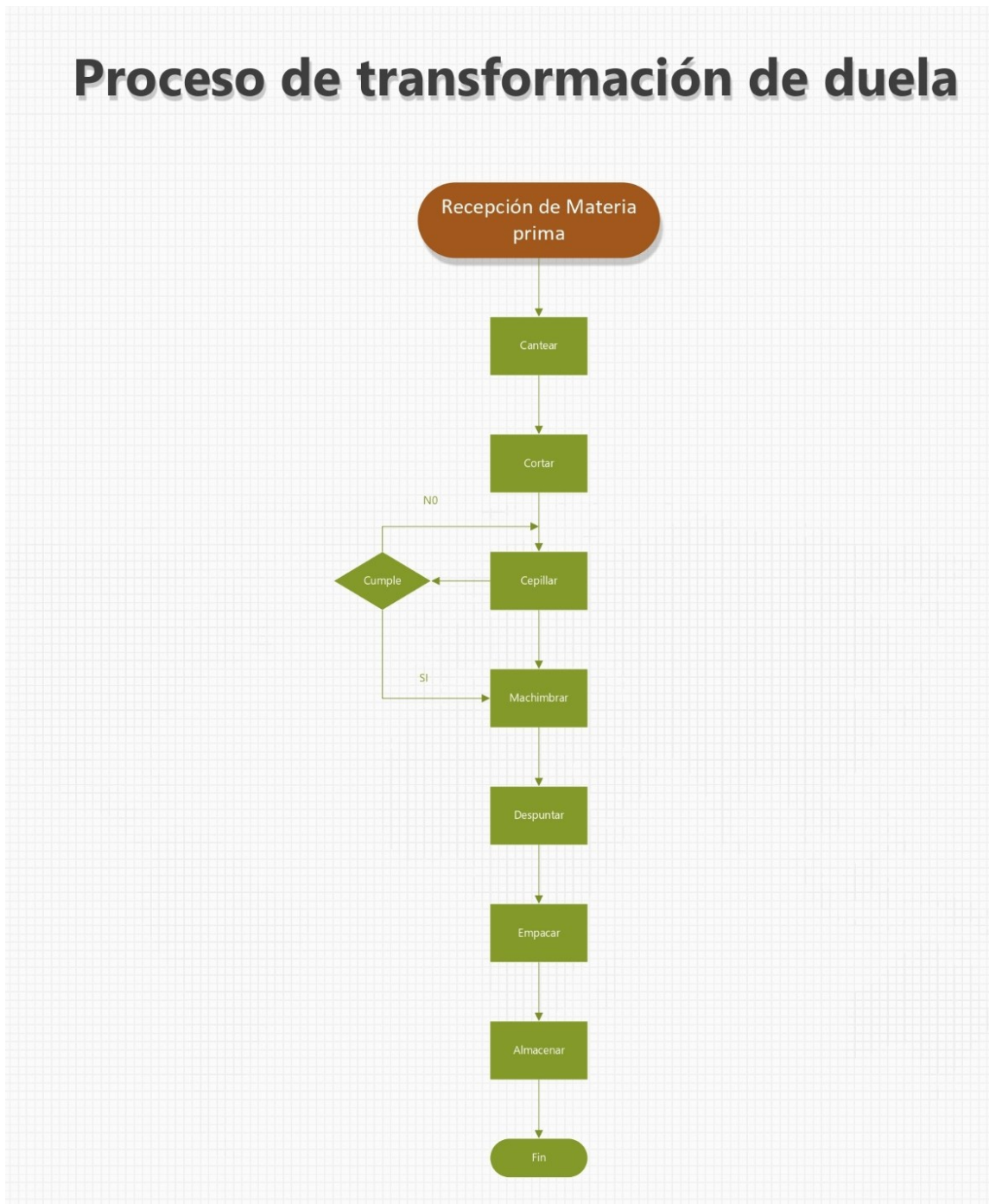
Nota: El layout representa la distribución actual de la empresa aserradero moderno en la que se cuentan con 300 m² con un total de 6 maquinarias en estado operativo.

Layout de la distribución actual

Diagrama de flujo del proceso

Figura 10

Diagrama de proceso de la fabricación de duela



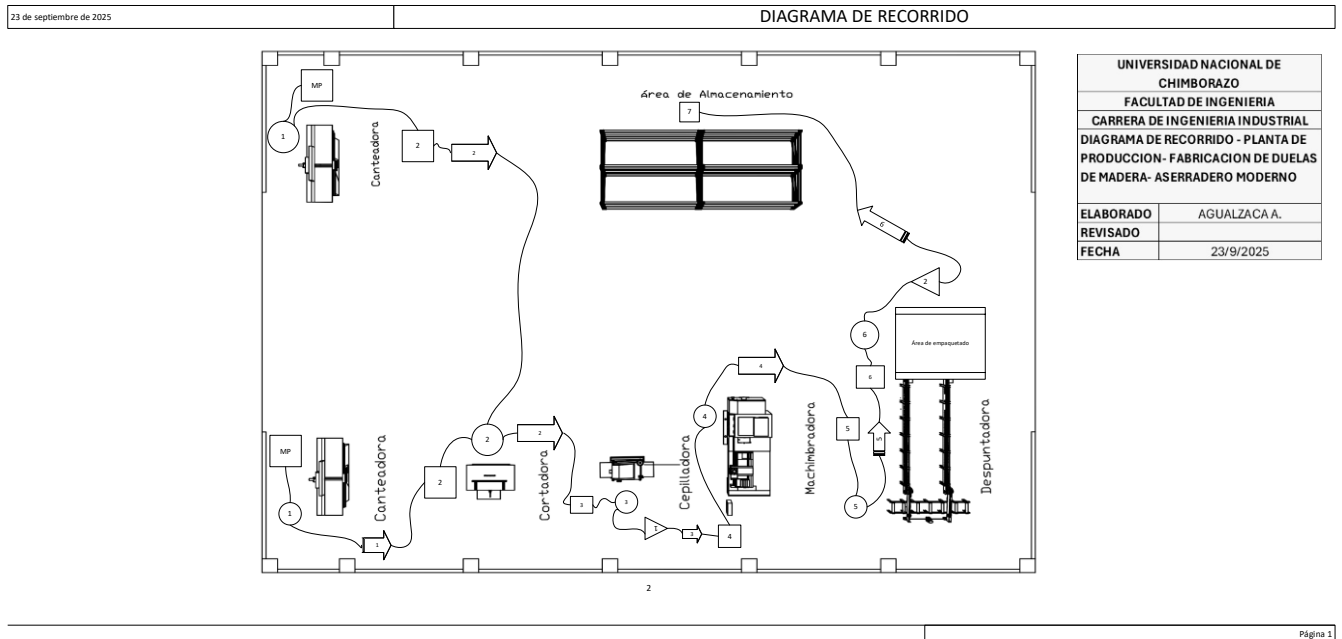
Nota: El diagrama muestra el proceso de transformación de duela, desde la recepción de la materia prima hasta el almacenamiento del producto terminado. El flujo incluye las etapas de cantear, cortar, cepillar, machimbrar, despuntar, empacar y almacenar, con un punto de control

de calidad tras el cepillado, donde se verifica el cumplimiento de las especificaciones antes de continuar. Este esquema es fundamental para comprender la secuencia lógica del proceso productivo y garantizar la correcta planificación de recursos y tiempos.

Diagrama de recorridos

Figura 11

Diagrama de recorrido de la materia prima



Nota: El diagrama presentado corresponde al recorrido del flujo de producción en la planta de fabricación de duelas de madera, mostrando la disposición física de las máquinas y el área de almacenamiento dentro del taller. Este esquema permite visualizar la secuencia lógica del proceso, desde la canteadora hasta la despuntadora, incluyendo zonas de maniobra y circulación.

Diagrama Analítico de Proceso

Figura 12

Diagrama Analítico de la transformación de duela de madera

		DIAGRAMA ANALITICO DE PROCESO							
		Método	Actual	Propuesto	Actividad	RESUMEN			
Empresa	Aserradero Moderno	Empieza			Operación	●	Actual	11	
		Termina			Transporte	→		7	
Área	Producción	Operario	Material	Maquinaria	Espera	■			
Objetivo	Proceso de elaboracion de duelas de eucalipto				Almacenamiento	■		6	
Actividad	Elaboración de duelas				Inspeccion	▼		2	
Elaborado	Agualzaca Alex		Fecha		Tiempo			359	
Aprobado			Fecha		Distancia			21.9	
Proceso	Número	Descripción de actividades	Distancia (metros)	Tiempo (segundos)	Símbolo				
					●	→	■	▼	
Recepcion de materia prima	1	Recepcion de materia prima	45	122,47	●				
Canteado	2	Transporte de tablas a la canteadora	1	2,53		→			
	3	Canteado de tablas		26,41	●				
Cortado	4	Almacenado de tabla canteada	0,6	4,05				■	
	5	Transporte de tabla canteada a la cierra de mesa	1,8	2,64		→			
	6	Cortado de madera		6,19	●				
Cepillado	7	Desecho de madera cortada	1,2	1,37	●				
	8	Almacenado de tabla cortada	1,2	4,33				■	
	9	Transporte de madera cortada a la cepilladora	1,4	2,94		→			
Cepillado	10	Cepillado de cara 1		10,4	●				
	11	Inspeccion debe tener un grosor de 2.3 cm		7					▼
	12	Almacenado de madera cepillada de cara 1	2,3	3,48				■	
	13	Transporte de tabla cepillada de cara 1 para cepillado de cara 2	1,4	2,75		→			
	14	Cepillado de cara 2		10,52	●				
	15	Inspeccion debe tener un grosor de 2.0 cm		7					▼
Machimbrado	16	Almacenado de tabla cepillada	0,7	3,83				■	
	17	Transporte de tabla cepillada al machimbre	0,7	3,98		→			
	18	Machimbrado y biselado de duelas		21,67	●				
Despuntado	19	Almacenado de duelas machimbradas	2,5	3,66				■	
	20	Transporte de duelas machimbrada a la	0,6	2,12		→			
	21	Despuntado de duelas	1,2	10,04	●				
Empaquetado	22	Almacenado de duelas machimbradas	0,6	2,48					
	23	Apilado de duelas en conjuntos de 10		36,37				■	
	24	Acomodado de duelas de cada conjunto		22,13	●				
Almacenado	25	Amarre en cada extremo		21,97	●				
	26	Transporte de duela empacada	6,5	13,26		→			
	27	Almacenado		3,25	●				
TOTAL			21,9	358,84					

Nota: El diagrama analítico de proceso muestra de manera detallada las actividades involucradas en la elaboración de duelas de eucalipto, indicando para cada operación la descripción, distancia recorrida, tiempo empleado, pero símbolo correspondiente según la metodología de análisis de procesos. Este documento permite identificar las etapas críticas, cuantificar los movimientos de transporte y operación, y evaluar oportunidades de mejora en términos de eficiencia y economía. El análisis refleja un total de 359 segundos y 21,9 metros recorridos

A pesar que la infraestructura de 300 m² del área de producción un espacio considerable para la cantidad de maquinaria actual y personal suficiente sin embargo la productividad se severamente limitada por una mala planificación del flujo físico algunas de las claves para entender esta situación se traduce al desorden operativo actual aumentando la probabilidad de accidentes laborales esto sugiere que uno hay delimitaciones entre los puestos de trabajo, pasillo y una zona de almacenamiento improvisada. La implementación de una distribución orientada al flujo del material permitirá reducir las distancias y eliminar los tiempos entre los procesos. Dado estas observaciones se empleará la metodología Systematic Layout Planning con el objetivo de encontrar una distribución adecuada para este proceso productivo.

4.1.2 Metodología SLP (Systematic Layout Planning)

Estimación de la superficie total: Distribución de planta (Metodología de Guerchet)

Este es un método de cálculo que para cada elemento a distribuir supone que su superficie total necesaria, se calcula como la sumatoria de las superficies parciales que contempla la superficie estática (ss), la superficie gravitatoria (sg) y la superficie de evolución (se).

$$S_T = S_s + S_g + S_e \quad (4)$$

Donde

S_T: superficie total

S_s: superficie estática

S_g: Superficie gravitacional

S_e: Superficie de evolución

Superficie Estática

Para hallar la superficie estática (S_s), se realiza la operación de multiplicar el largo por el ancho tal como sigue en la siguiente ecuación:

$$S_s = L * A \quad (5)$$

Donde

L: Largo

A: Ancho

Esta ecuación es aplicable a cada una de las máquinas existentes en la planta de producción.

En el proceso de la transformación de madera en duelas el Aserradero Moderno tiene instalada en su área de producción 6 maquinarias, obteniéndose las siguientes medidas en cada una de las maquinarias.

Tabla 2

Superficie estática					
Máquina	Número	Longitud (m)	Anchura (m)	Altura (m)	Superficie estática Ss.(m ²)

					Ss = Longitud * Acho
Canteadora	2	2,15	0,40	1,10	1,72
Sierra de banco	1	1,01	1,13	1,10	1,14
Cepilladora	1	1,30	0,85	1,37	1,11
Machimbradora	1	2,40	1,25	1,52	3,00
Despuntadora	1	3,86	2,03	0,90	7,84
Total	6				14.81 m²

Nota: La siguiente nota resume los datos de la tabla que detalla el espacio estático que requiere la maquinaria. Este parámetro representa el área física ocupada por la máquina dentro del área de producción, sin considerar espacios adicionales para circulación o maniobra. El valor acumulado para las seis máquinas analizadas asciende a 14,8021 m².

Superficie de gravitación (Sg)

Se realiza una operación de multiplicación de la superficie estática con el número de lados operables de la maquinaria tal como sigue en la siguiente ecuación:

$$S_g = S_s * N \quad (6)$$

Donde

S_s: superficie estática

N: es el número de lados operables de la maquinaria

Esta ecuación es aplicable al área que necesita un operario para realizar la labor en una máquina

Tabla 3

Superficie de gravitación

Máquina	Superficie estática (m²)	N	Superficie de gravitación (Sg) (m²) Sg = Ss * n
Canteadora	1,72	2	3,44
Sierra de banco	1,14	2	2,28
Cepilladora	1,11	2	2,22
Machimbradora	3,00	1	3,00
Despuntadora	7,84	2	15,68
Total			26,62m²

Nota: La tabla resume el cálculo que permite estimar el espacio total requerido para la operación segura y eficiente de cada equipo, considerando tanto la superficie física que ocupa la máquina como el área adicional necesaria para la interacción del personal. El total de superficie de gravitación para todas las máquinas es 26,62 m².

Superficie de evolución (Se)

Indica el espacio para el flujo correcto entre las estaciones de trabajo como indica la siguiente ecuación:

$$S_e = (S_s + S_g)K \quad (7)$$

Donde

K: es la cantidad promedio de las alturas de los elementos móviles y estáticos. Se calcula de la siguiente fórmula:

Estimación de la superficie de la superficie de planta

Para hallar las superficies de una distribución de planta el método utilizado es la determinación de la constante K del método de Guerchet.

$$K = \frac{h_{EM}}{2h_{EE}} \quad (8)$$

Donde

h_{EM} : Altura promedio de los operarios

h_{EE} : Cota media de las maquinarias

A continuación, se especifica las características antropométricas de los operarios impactan la ergonomía con la que debe contar la maquinaria y el puesto de trabajo. Contar con el valor promedio de la estatura de la población estudiada permite tomar decisiones en caso de que esté afectando a la seguridad y salud del operario.

Tabla 4

Estatura de los operarios del área de producción

Operario	Estatura promedio (metro)	Puesto de trabajo
1	1,75	Canteadora 1
2	1,71	Canteadora 2
3	1,59	Cierra de banco
4	1,73	Cepilladora
5	1,77	Machimbradora
6	1,68	Despuntadora
Promedio	1,70	

Nota: La tabla presenta la estatura de los operarios asignados a cada puesto de trabajo, información relevante para el diseño ergonómico y la disposición del equipo en el área de producción. El promedio de estatura calculado es 1,70 metros.

En la siguiente tabla se detalla las medias estándar de las maquinarias de la empresa.

Tabla 5

Altura de la maquinaria

Máquina	Altura (metros)
Canteadora	1,10

Sierra de banco	1,10
Cepilladora	1,37
Machimbradora	1,52
Despuntadora	0,90
Altura promedio	1.19

Nota: La tabla presenta la altura de cada máquina instalada en el área de producción, información fundamental para la planificación ergonómica y la distribución del taller. El valor promedio obtenido es 1,19 metros, el cual sirve como referencia para definir la altura de elementos complementarios, garantizar la comodidad del operario y cumplir con las normas de seguridad industrial.

Al ser valores estándar en el promedio de las maquinarias y de los operarios se procede con el cálculo del valor K:

$$K = \frac{h_{EM}}{2h_{EE}}$$

$$K = \frac{1,70}{2 * 1,19}$$

$$K = 0,71$$

Encontrado la constante K en la siguiente tabla detalla el cálculo de la superficie de evolución.

Tabla 6

Superficie de evolución

Máquina	Superficie estática (m ²)	Superficie de gravitación (m ²) Sg = Ss * n	Superficie de evolución Se= (Ss+Sg)K
Canteadora	3,44	6,68	7,19
Sierra de banco	1,14	2,28	2,42
Cepilladora	1,11	2,21	2,36
Machimbradora	3,00	3,00	4,26
Despuntadora	7,84	15,67	16,69

Nota: La tabla presenta el resultado del cálculo de la superficie de evolución (Se) además se incluye el coeficiente de corrección (K) es un factor de corrección que se aplica en el cálculo de la superficie de evolución (Se) para considerar espacios adicionales necesarios en el área de trabajo, más allá de la superficie estática y de gravitación.

El método de Guerchet permite determinar el área requerida para cada estación de trabajo realizando la sumatoria de las superficies estáticas, superficie gravitación y superficie de evolución.

Tabla 7

Superficie Total requerida

Máquina	Superficie estática (m ²)	Superficie de gravitación (m ²) Sg = Ss * n	Superficie de evolución (m ²) Se= (Ss+Sg) K	Superficie total (m ²) ST= Ss+Sg+Se
Canteadora	1,72	3,44	7,19	12,35
Sierra de banco	1,14	2,28	2,42	5,84
Cepilladora	1,11	2,21	2,36	5,68
Machimbradora	3,00	3,00	4,26	10,26
Despuntadora	7,84	15,67	16,69	40,47
Superficie total (m ²)				74,61

Nota: La tabla muestra el resultado de la superficie total mínima estimada para el uso exclusivo de las maquinarias. Estos valores permiten estimar el espacio integral requerido para la instalación y operación segura de cada equipo, considerando áreas para circulación, maniobra y cumplimiento de normas ergonómicas. El total acumulado para todas las máquinas es 74,25 m².

Tabla relacional

La tabla relacional se construyó considerando las relaciones de cercanía o proximidad entre las actividades.

Procedimiento para su construcción

La construcción de la siguiente tabla se apoya en dos principios elementales.

1. Tabla de valor de proximidad
2. Lista de razones de cercanía

Tabla 8

Valor de proximidad

CÓDIGO	VALOR DE PROXIMIDAD
A	Absolutamente necesario
E	Especialmente necesario
I	Importante
O	Ordinario
U	Sin importancia
X	No recomendable

Fuente: Agualzaca A.

	Razón de cercanía
1	Secuencia de flujo de trabajo
2	Cercanía a un proceso que tiene una relación fuerte con dicha actividad
3	Numero de productos que comparten procesos

4	Durabilidad de productos
5	Necesidad de material

Lista de áreas según la importancia en el proceso productivo

1. Recepción de materia prima
2. Canteado
3. Cortado
4. Cepillado
5. Machimbrado
6. Despuntado
7. Empaquetado
8. Almacenado

La tabla de relaciones de actividades se construirá utilizando el software determinístico llamado CORELAP 01.

La primera etapa de la construcción de la tabla relacional de actividades es el planteamiento en la que se detalla el número de departamentos, nombre del departamento, tamaño del departamento y la superficie total disponible del área de estudio. Como se muestra en la siguiente figura.

Se detalla el número y el tamaño de los departamentos del área de producción existentes en la empresa

Figura 13

Tabla de relacional de actividades

¿Cuántos departamentos quiere implantar? CONTINUAR RETROCEDER

	Nombre Departamento	Tamaño Depart. m2
1	Recepción de MP	12
2	Canteado	12,44
3	Cortado	5,82
4	Cepillado	5,52
5	Machimbrado	10,20
6	Despuntado	39,65
7	Empaquetado	10
8	Almacenamiento	35

Superficie Disponible :

Definición de los parámetros que determinan el peso de las relaciones.

A =	<input type="text" value="6"/>	El chart de relaciones se rellena asignando una de estas 6 constantes a la relación entre cada 2 departamentos. El valor de cada constante puede ser modificado en esta tabla.
E =	<input type="text" value="5"/>	
I =	<input type="text" value="4"/>	
O =	<input type="text" value="3"/>	
U =	<input type="text" value="2"/>	
X =	<input type="text" value="1"/>	

CONTINUAR RETROCEDER

Nota: La grafica corresponde a la información sobre el planteamiento CORELAP 01. Se han definido 8 departamentos con sus respectivas superficies en m²: Recepción de MP (12), Canteado (12.44), Cortado (5.82), Cepillado (5.52), Machimbrado (10.20), Despuntado (39.65), Empaquetado (10) y Almacenamiento (35). La superficie total disponible es de 300 m². Los parámetros de peso para las relaciones son: A=6, E=5, I=4, O=3, U=2, X=1.

Se construye la tabla de relacional de actividades y se coloca las ponderaciones de acuerdo con la relación existentes entre los departamentos.

Figura 14

Matriz de relación de actividades



Nota: Este gráfico muestra la matriz de relaciones entre los 8 departamentos que se desean implantar en una planta de producción de la empresa Aserradero Moderno, indicando el tamaño de cada uno y el grado de cercanía funcional que deben tener. El método CORELAP utiliza esta información para generar un layout óptimo, priorizando la proximidad entre áreas con relaciones más fuertes (A y E) y evitando cercanía entre áreas con relación no deseada (X).

Tabla de proximidad

Para determinar la proximidad entre los departamentos el programa Corelap 1.0 utiliza algoritmos heurísticos dando como resultado la Calificación Total de cercanía (TCR), muestra el resultado de los cálculos de prioridad, determinando qué departamentos deben ubicarse primero en el plano.

La ordenación por importancia permite establecer prioridades en la ubicación de los departamentos más críticos para el flujo de producción, asegurando que aquellos con mayor

interacción funcional se ubiquen en posiciones estratégicas dentro del layout.

Figura 15

Tabla de proximidad de los departamentos

ORDENACIÓN DE LOS DEPARTAMENTOS POR IMPORTANCIA			
Orden	Nombre	TCR	Superficie m2
1.-	Recepción de MP	26	12
2.-	Cepillado	23	552
3.-	Cortado	20	582
4.-	Empaquetado	20	10
5.-	Despuntado	19	3965
6.-	Machimbrado	19	102
7.-	Canteado	18	1244
8.-	Almacenamiento	15	35

Solución Gráfica

Calcular Iteraciones

Superficie Requerida > Superficie Disponible

Superficie Requerida: 6502

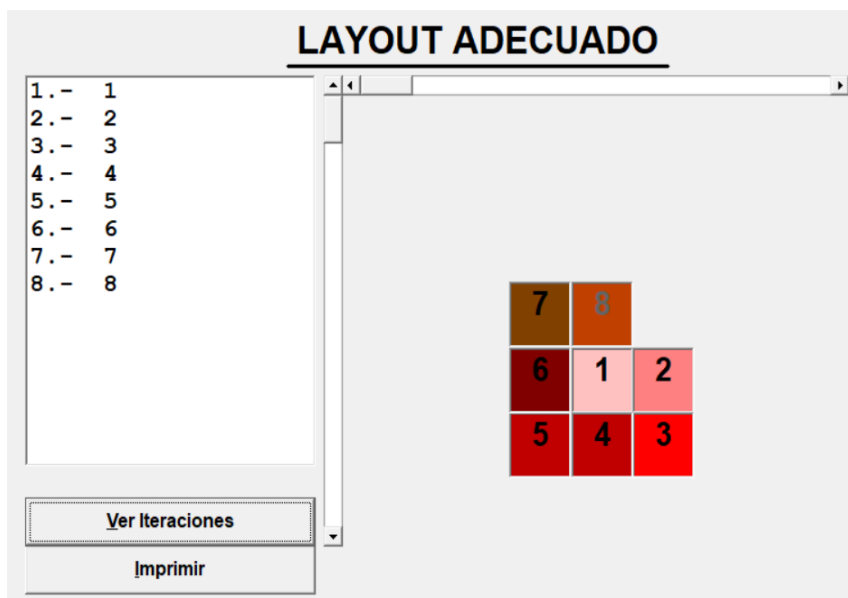
Superficie Disponible: 300

Nota: TCR (Total Closeness Rating): Es la suma de los valores de las relaciones de cada departamento. La Recepción de MP lidera la lista con un TCR de 26, lo que la convierte en el "centro" o punto de partida lógico de la distribución.

Layout propuesto por CORELAP 1.0

Figura 16

Layout adecuado utilizando CORELAP 1.0



Nota: la figura presenta el layout adecuado generado mediante el método CORELAP, el cual busca optimizar la distribución física de los departamentos previamente definidos, considerando las relaciones funcionales establecidas en la matriz de relaciones.

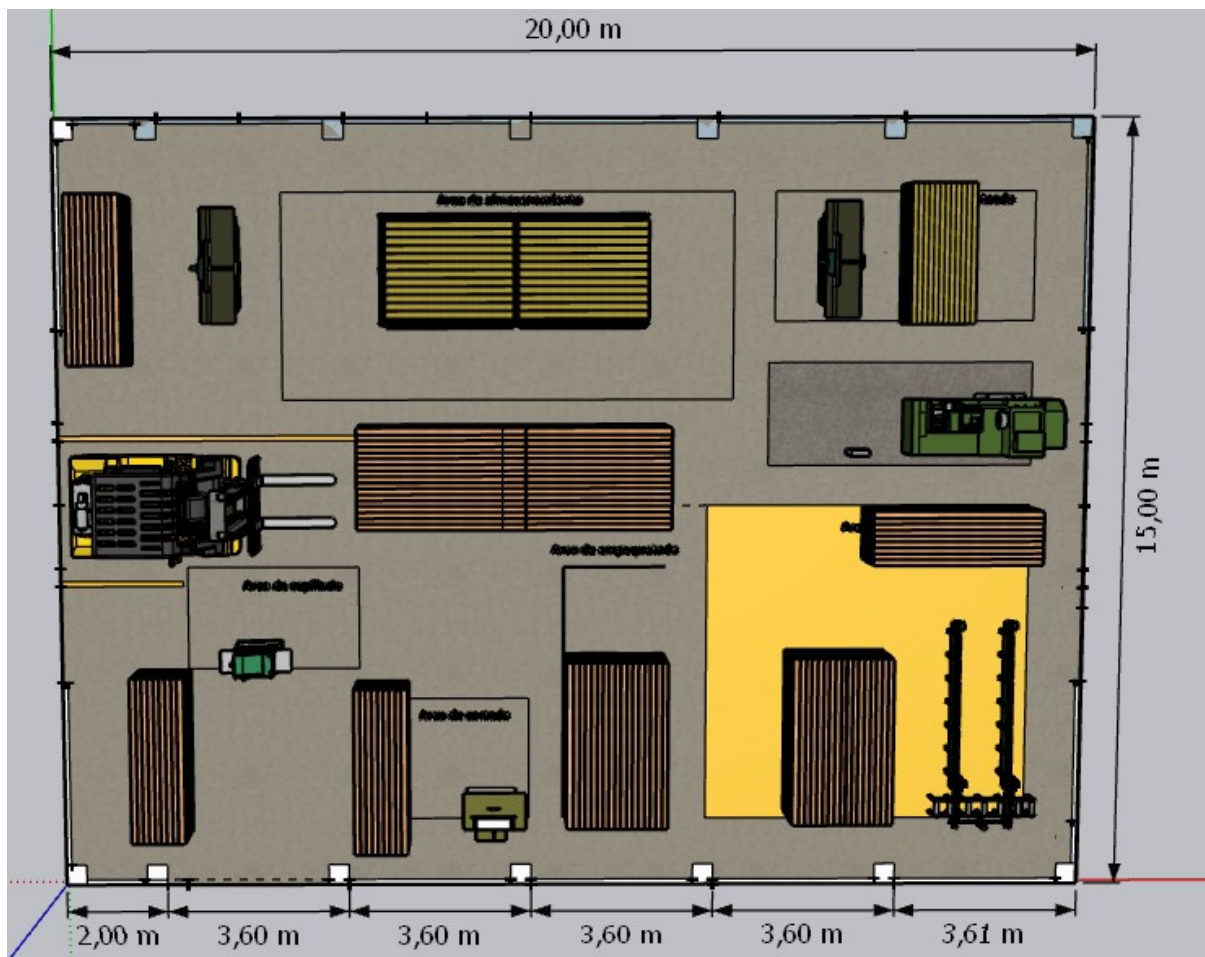
El diseño del layout propuesto, basado en el diagrama de bloques del programa CORELAP 1.0, debe alinearse estrictamente con la normativa de seguridad. De acuerdo con el Decreto Ejecutivo 2393, se ha considerado parámetros dimensionales específicos para garantizar la integridad de los operarios y la eficiencia en el flujo de materiales.

En cumplimiento con el Art. 74 sobre la separación de maquinaria, el diseño asegura una distancia mínima de 800 mm entre las partes más salientes de las máquinas y las paredes del local en puestos de trabajos confinados. Asimismo, se establece una zona de seguridad señalizada no inferior a 400 mm entre los pasillos de tránsito y el entorno del puesto de trabajo.

Para la logística interna, y según lo estipulado en el Art. 130 referente a la circulación de vehículos de carga, el ancho de los pasillos de tránsito unidireccional se ha proyectado sumando una holgura de 600 mm al ancho máximo del vehículo o la carga.

Figura 17

Layout propuesto CORELAP



Nota: Es siguientes es un Layout diseñado según las recomendaciones del algoritmo CORELAP de acuerdo con las calificaciones del TCR.

El diseño presentado se basa en los cálculos del algoritmo CORELAP, el cual organiza las áreas según las calificaciones de cercanía TCR (Total Closeness Rating). Si bien el Layout

cumple con la relación de afinidad entre departamentos, esta configuración presenta ciertas limitaciones de eficiencia operativa y flujo de material.

Se observa que el área de materia prima se encuentra ubicada en el centro de proceso, esto rompe la secuencia lógica del proceso productivo que obligan a realizar cargas y descargas en una zona de alto tráfico además existe una desconexión entre las áreas de canteado, cortado y cepillado que según el diagrama de proceso deben ser consecutivos esta desconexión impacta directamente en la productividad incrementando la distancia y el tiempo de ciclo en la fabricación de la duela.

Layout propuesto por el estudiante

Figura 18

Layout propuesto por el estudiante

Nota: La presente es la configuración del Layout orientada por el flujo del proceso



El presente diseño constituye una reconfiguración del modelo original mediante la aplicación de los cálculos del algoritmo CORELAP y la estructuración de las áreas según las calificaciones de cercanía de TCR (Total Closeness Rating). A diferencia del modelo anterior este modelo de layout presenta una secuencia lógica del proceso productivo misma que traen beneficios como la sincronización de las áreas, optimización del ciclo y un flujo continuo que facilita un tránsito más fluido de la materia prima hacia el producto terminado.

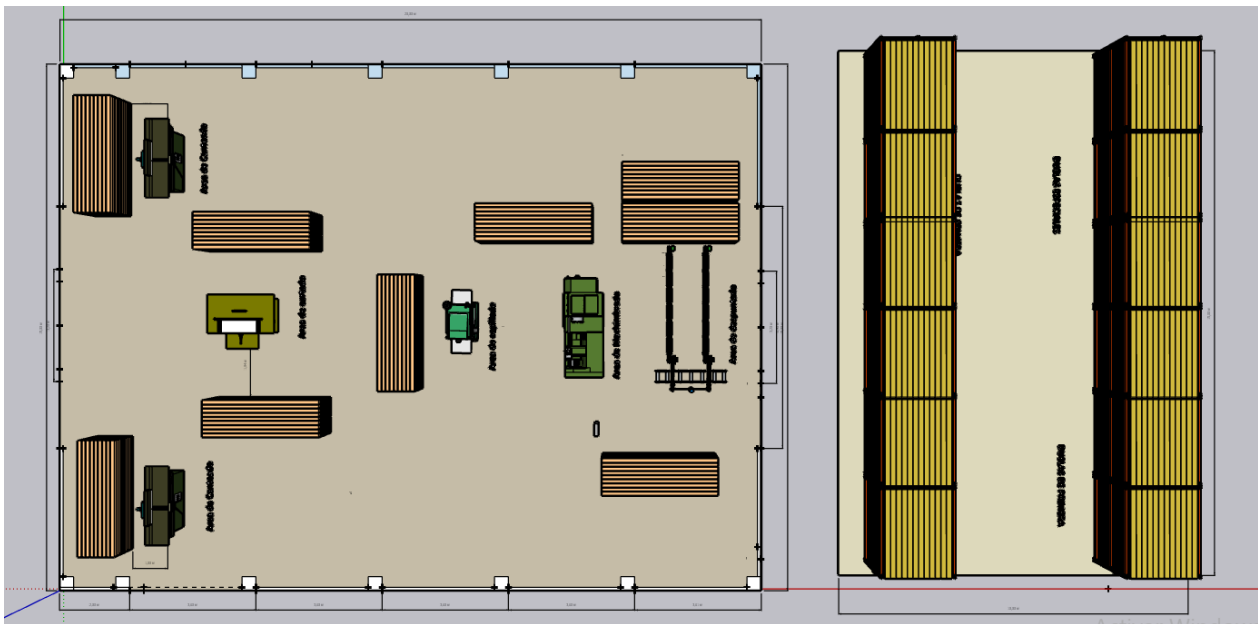
Para mejorar la distribución inicial obtenida por la metodología SLP se va a evaluar la metodología QAP para reducir la distancia recorrida por el material a través de cada estación de trabajo dentro del área de producción del aserradero moderno.

Layout Propuesto por los trabajadores

La siguiente es una representación de la distribución de planta sugerida por los trabajadores de ampliar el área de Almacenamiento ver (Anexo 2), a otra nave esto se debe al limitado espacio en la nave principal el objetivo es mejorar la logística en cuanto al despacho del producto terminado, así logrando la disminución de congestión de material en el área de producción. Esta distribución elimina la desconexión que existía entre la canteadora y la máquina de cierra de mesa

Figura 19

Layout propuesto por el personal



4.1.3 Propuesta de mejora de la distribución en planta del Aserradero Moderno

El Aserradero moderno en su departamento de producción, en la actualidad cuenta con una infraestructura de 300 m², que procesa 2000 tabillas en un turno de 8 horas, divididas en 8 áreas de trabajo en su departamento de producción, estas áreas han sido evaluadas mediante el algoritmo constructivo Corelap que se realizó en el segundo objetivo, permitiendo proponer diversos layouts basados en los criterios técnicos y en la experiencia de personal operativo. Para abordar el Problema de Asignación Cuadrática (QAP), se tomará como base el diseño propuesto por los trabajadores. Se ha seleccionado el módulo Facility Location and Layout del algoritmo heurístico WinQSB con el objetivo primordial de optimizar la organización departamental, minimizando tanto el costo de manejo de materiales y la distancia de recorrido.

Tabla 9

Codificación de departamentos

Departamento	Código	Significado
A	A	Recepción de materia prima
B	B	Canteado

C	C	Cortado
D	D	Cepillado
E	F	Machimbrado
F	F	Despuntado
G	G	Empaquetado
H	H	Almacenado

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10

Flujo de material entre departamentos

A	A	B	C	D	E	F	G	H
A		2000						
B			1995					
C				1990				
D					1985			
F						1980		
G							1975	
H								1970

Fuente:

elaboración propia

El Módulo de simulación Facility Location and Layout sugiere la reducción paramétrica del 5% en las entradas para cada proceso operativo conforme se detalla en la Tabla 10, esto para evitar el desplazamiento drástico del centroide teórico.

Tabla 11

Coordenadas de los departamentos

B	Centroide 1 Distribución Actual	Centroide 2 Distribución Propuesta
A	(1.16,2,42), (1.16,13)	(1,3), (1,12)
B	(2,3), (2,12)	(3,3), (3,12)
C	(6,2.5)	(7,5)
D	(9.26,3)	(7,7)
E	(12.5,4)	(7,11)
F	(17,3.5)	(7,15)
G	(17,7.5)	(7,17)

H	(11,10)	(3,17)
---	---------	--------

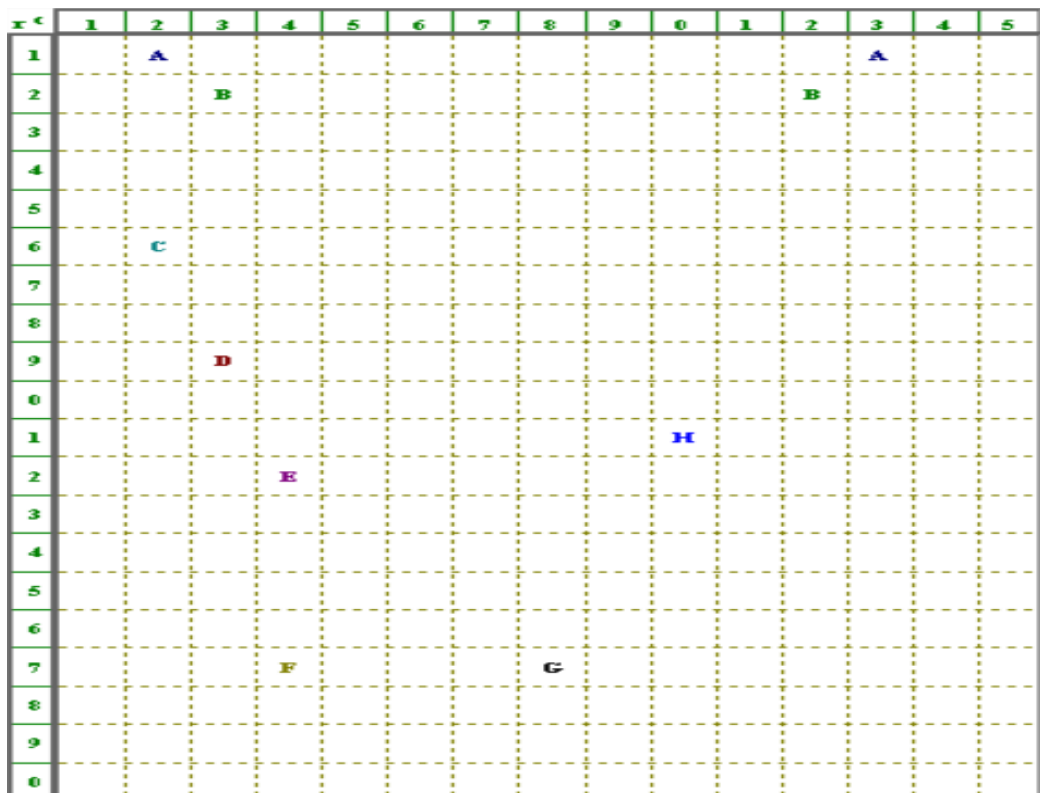
Las coordenadas presentadas en la tabla 11 comparan la configuración espacial de los departamentos bajo dos escenarios distintos. Los valores del centroide 1 (ver figura 9) surgen del diagnóstico de la distribución actual, procesado mediante el módulo de asignación cuadrática del software WINQSB. Por otro lado, los valores del centroide 2 representan la distribución propuesta (ver figura 20), diseñada para optimizar la adyacencia entre áreas con mayor flujo de materiales.

Representación del Layout ejecutada por la simulación de WINQSB

La siguiente figura es la representación del layout ejecutado mediante el software WINQSB 2.0, utilizando el módulo de Facility Location and Layout de la situación actual de la planta de producción.

Figura 20

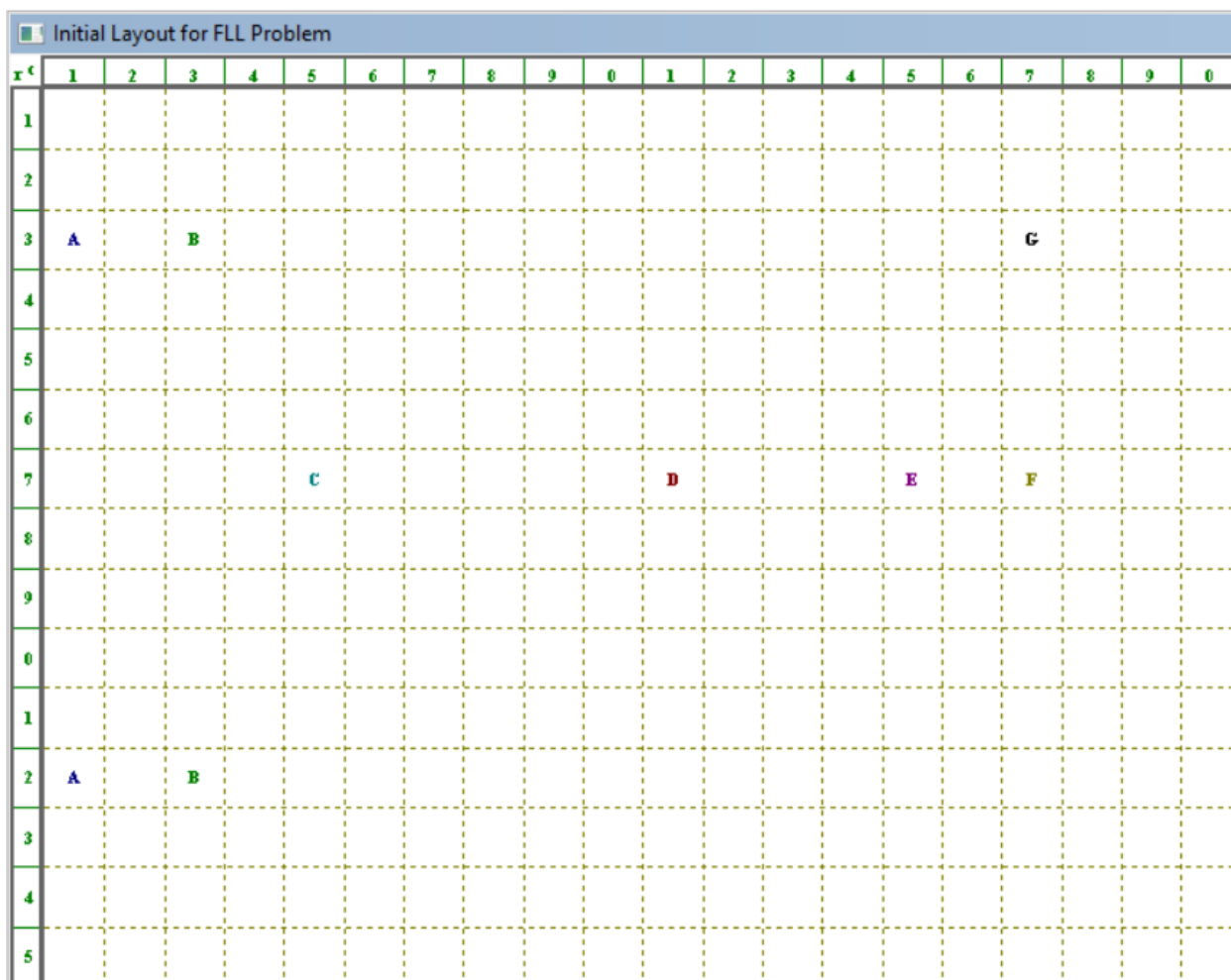
Layout de la distribución actual de la planta de Aserradero Moderno



Nota: La grafica es el resultado de la simulación ejecutada en WINQSB correspondiente al módulo Facility Location and Layout de asignación cuadrática (QAP) de las maquinarias. Las dimensiones de las cuadrículas tienen un área de 1m^2 , las letras representan las codificaciones

Figura 21

Propuesta de la distribución de planta del Aserradero Moderno



de cada departamento (ver tabla 9), se encuentran ubicadas en los centroides de cada estación de trabajo (ver tabla 11).

Nota: La grafica (Distribución Propuesta), es el resultado de la simulación ejecutada en WINQSB correspondiente al módulo Facility Location and Layout de asignación cuadrática (QAP) de las maquinarias. Las dimensiones de las cuadrículas tienen un área de 1m², las letras representan las codificaciones de cada departamento (ver tabla 9), se encuentran ubicadas en los centroides de cada estación de trabajo (ver tabla 11).

Tabla 12

Resultados de los escenarios evaluados por la simulación

Escenarios	Distancia total recorrida	Costo total de transporte	Tiempo de recorrido del material (segundos)
Distribución actual	21,9111	561,167	358.84

Distribución propuesta	19.25	468,978	315,27
Comparación	-12.14 %	- 16,42%	-12,14%

Los resultados de la evaluación realizada en la simulación muestran que, al implementar la nueva distribución propuesta, sugerida por los trabajadores y evaluada mediante el método QAP, se puede reducir las distancias recorridas entre los departamentos en un 12.14% misma que se traduce en una reducción del 16,42% en el costo de transporte (resultado del producto entre el recorrido del material y los insumos, mano de obra y maquinaria utilizada), y en una reducción del 12.14% en el tiempo de recorrido del material.

Al comparar los costos resultantes del QAP que son 468,978 \$ con relación al de la situación inicial de \$ 456,167. Este comportamiento se debe que este método al tomar distancias rectilíneas es menor a las distancias reales, dado que en la planta de producción existen algunos recorridos curvilíneos hacen que el costo sea mayor.

4.2 Discusión de resultados

Los resultados de la evaluación técnica sobre la distribución actual de la planta revelan una congestión en el flujo de materiales. Esta deficiencia incrementa el tiempo de recorrido y, por consecuencia, reduce significativamente la tasa de producción diaria. En términos generales, se evidencia una carencia de planificación estratégica en la distribución física de la maquinaria. A partir del análisis de la metodología Systematic Layout Planning (SLP), se determinó que el flujo de recorrido del material se encuentra congestionado debido a que no se respeta la distancia entre las máquinas y el material además la distancia de una canteadora en relación con la cortadora es excesiva.

Los resultados de simulación con la metodología de asignación cuadrática muestran una disminución significativa entre la distribución actual y la propuesta estas mejoras se pueden realizar mejorando el flujo del material.

En estudios similares como el de (Agudelo et al., 2022) se evidencio que la mala distribución de las estaciones trabajo conlleva a la congestión en el flujo del materia siendo más propensos a que ocurra accidentes, haciendo una comparación con el presente estudio se evidencia la similitud en la disminución en el tiempo de recorrido entre el 12.98 % del estudio y el 12.14% principalmente asociadas a una redistribución adecuada de las maquinarias estas permiten que la compañía sea más competitiva en costos, tiempos de atención a clientes y calidad.

En otro estudio realizado por Parra y Osorio en la planta Maderas Leandro muestran que el reordenamiento de los equipos con lleva a la disminución en el tiempo de recorrido similar al presente estudio que existe una disminución en 12.14% con relación a la distribución actual. Esta problemática se presenta debido a que no existen una conexión adecuada entre las estaciones que deben tener un flujo continuo y lineal debido a la naturaleza de proceso.

De igual manera, equiparando el estudio realizado por Anacona (2022), los resultados de la simulación de eventos discretos QAP sugieren que, si se aplica la nueva distribución, los costes y los tiempos del flujo de materiales se reducirían en un 13,22 % y un 4,28 %, respectivamente de igual forma el presente estudio muestran resultados de simulación muestran una disminución del 16.42% en el costo de transporte.

Finalmente, el estudio realizado por Osorio (2019) en la empresa Aserradero Pacasmayo reorganizando las maquinarias según la metodología Layout Systematic Planing logro incrementar la productividad, con un aumento de porcentaje del 19% en mano de obra y 11.94% en utilización de capacidad similar a los resultados obtenidos en este estudio este se debe a que una redistribución adecuada mejora el espacio de trabajo aumentando la productividad y disminuyendo el tiempo muerto en cada ciclo de producción.

El proyecto de investigación muestra indicadores de mejora sustanciales, una reducción del 12.14% en la distancia de recorrido, una optimización del 16.14% en costos operativos de transporte y una mejora del 12.14% en el tiempo total de producción. Estos datos confirman que la redistribución de maquinaria es el factor determinante para transformar la planta en una unidad operativa y eficiente.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El diagnóstico de la actual distribución de la planta de producción muestra una distribución física ineficiente de la maquinaria, la cual genera un recorrido de materia prima de 21,9 metros. Esta configuración no solo ralentiza el flujo productivo, sino que incumple la distancia mínima establecida en el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo, incrementando significativamente la exposición a riesgos de accidentes laborales. Asimismo, se detectaron deficiencias en la secuencia operativa y el almacenamiento, la falta de proximidad estratégica entre la canteadora y la sierra de mesa provoca una ruptura en la continuidad del flujo, lo que deriva en un aumento injustificado del tiempo de ciclo. El área destinada al inventario carece del espacio necesario para la estandarización y segregación de las duelas por denominación, lo que genera confusión logística y dificultades en la gestión de materiales.

Mediante la aplicación de la metodología Systematic Layout Planning (SLP), se determinó la importancia de la proximidad estratégica entre las estaciones de trabajo y la maquinaria. Esta optimización permitió maximizar la continuidad en el flujo de materiales, logrando una reducción del 12,14% en el tiempo de ciclo en comparación con la distribución actual.

Finalmente, mediante la simulación del modelo matemático de Asignación Cuadrática (QAP), ejecutado a través del módulo *Facility Location and Layout* de WINQSB, se validó la eficacia de la propuesta de diseño. Los resultados obtenidos proyectan una reducción del 16,42% en los costos operativos y una disminución del 12,14% en el tiempo de ciclo de producción. Estas mejoras son el resultado directo de optimizar la transición del flujo de madera y minimizar las distancias de recorrido entre las estaciones de trabajo, eliminando los cuellos de botella identificados en la distribución inicial.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda adoptar el diseño planteado a partir del Systematic Layout Planing dado que se optimiza la distancia entre las áreas misma que contribuye a mejorar la continuidad del flujo de la madera. Esta implementación permitirá una reducción del 12.14% el tiempo de ciclo obtenida en la simulación del módulo de WINQSB

Es indispensable garantizar el cumplimiento del Reglamento de Seguridad y Salud en el trabajo para esto se debe ajustar la disposición física de la maquinaria a las distancias mínimas requeridas. Esto disminuye el riesgo de los accidentes laborales además facilita un tránsito seguro y ordenado en la planta de producción.

Se debe realizar evaluaciones periódicas con otros modelos matemáticos heurísticos con el objetivo de monitorear la eficiencia del diseño propuesto y ajustar posibles desviaciones en los costos operativo o en el tiempo de ciclo. Se sugiere implementar indicadores KPIs que permita medir el impacto real de la redistribución de la planta.

Se recomienda capacitar a los operarios de la nueva distribución propuesta, así como de los procedimientos de seguridad. Esto para asegurar el aprovechamiento óptimo del diseño que minimizara errores operativos durante la jornada laboral.

REFERENCIAS

- Agudelo, H. C., Galviz, J. E. R., & Morales, G. A. R. (2022). *PROPUESTA DE DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE PLANTA PARA LA EMPRESA CARRETES Y MADERAS*.
- Alvarado Concha, S. D. (2022). *Propuesta de estandarización del proceso de fabricación de duelas de madera en la empresa Aserradero Moderno* [bachelorThesis, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo].
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/10059>
- Álvarez-Arias, D., De Ávila-Moore, J., & Hurtado-Rivera, J. (2022). Aplicación de Metodología SLP para Redistribución de Planta en Micro Empresa Colombiana del Sector Marroquinería: Un Estudio de Caso. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 4(1). <https://doi.org/10.17981/bilo.4.1.2022.11>
- Amoroso, J. M. (2006). *El problema de distribución en planta (layout): Aplicación de un método de comparación estadística y el método heurístico de temple simulado*. <https://ri.itba.edu.ar/entities/publication/dad8721c-3b5a-46f5-80c2-f8f53d515c74>
- Anacona-Mopan, Y., Segura-Dorado, J., & Paz-Orozco, H. (2022). Optimización de la distribución en planta con formulación QAP y simulación de eventos discretos. *Informador Técnico*, 87(1), 13-28. <https://doi.org/10.23850/22565035.4814>
- Anacona-Mopan, Y., Segura-Dorado, J., & Paz-Orozco, H. (2023). Optimización de la distribución en planta con formulación QAP y simulación de eventos discretos. *Informador Técnico*, 87(1), 13-28.
- Armour, G. C., & Buffa, E. S. (1963). A Heuristic Algorithm and Simulation Approach to Relative Location of Facilities. *Management Science*, 9(2), 294-309.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.9.2.294>
- Azadeh, A., & Moradi, B. (2014). SIMULATION OPTIMIZATION OF FACILITY LAYOUT DESIGN PROBLEM WITH SAFETY AND ERGONOMICS FACTORS. *International Journal of Industrial Engineering*, 21(4), 209.
- Beckmann, M., & Koopmans, T. C. (1957). *Assignment Problems and the Location of Economic Activities—The Econometric Society*.
<http://www.econometricsociety.org/publications/econometrica/1957/01/01/assignment-problems-and-location-economic-activities>
- Cambren, K. E., & Evans, G. W. (1991). Layout design using the analytic hierarchy process. *Computers & Industrial Engineering*, 20(2), 211-229. [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(91\)90026-3](https://doi.org/10.1016/0360-8352(91)90026-3)
- Castañeda, L. N. R. (s. f.). *DISEÑO DE UNA DISTRIBUCIÓN EN PLANTA CON ALGORITMOS GENÉTICOS Y BÚSQUEDA TABÚ*.
- Castillo Mostacero, C. M., Perez Tirado, R. A., & Roncal Vásquez, M. E. (2021). Redistribución de planta para incrementar la productividad en la empresa Aserradero Pacasmayo – Pacasmayo 2019. *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/53623>
- Charris-Charris, R., Coronado-Castrillón, L., González-Galindo, D., & Rivera-Rojas, L. (2023). Aplicación del Método Systematic Layout Planing (SLP) en Una Estación De Servicios de Puerto Colombia. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.17981/bilo.5.2.2023.10>

- Cisneros Caicedo, A. J., Guevara García, A. F., Universidad Estatal del Sur de Manabí, Urdánigo Cedeño, J. J., Universidad Estatal del Sur de Manabí, Garcés Bravo, J. E., & Universidad Estatal del Sur de Manabí. (2022). Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos que Apoyan a la Investigación Científica en Tiempo de Pandemia. *Dominio de las Ciencias*, 8(1), 1165-1185.
<https://doi.org/10.23857/dc.v8i1.2546>
- Dessens, L. F. R. (2023). *Optimización de Colonia de Hormigas para resolver el problema de Distribución en Planta*.
- Díaz, K. E. (2014). Evaluación de la distribución espacial y valor de uso de palmeras andinas en la concesión para conservación Alto Huayabamba—2013. *Repositorio – UNSM*.
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/253>
- Diego Más, J. A. (2006). *Optimización de la distribución en planta de instalaciones industriales mediante algoritmos genéticos. Aportación al control de la geometría de las actividades*. [Universitat Politècnica de València].
<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/135821>
- Drada, E. R., Pantoja, V. L. C., & Cabrera, J. P. O. (2019). Propuesta metodológica multicriterio para la distribución semicontinua de plantas. *Suma de Negocios*, 10(23), 132-145.
- González García, J. L. (2005). *Aportación a la optimización multiobjetivo del diseño de plantas industriales. Distribución de planta* [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universitat Politècnica de València].
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=240368>
- Hallan, 1968. (s. f.).
- HASSAN, M. M. D. (1994). Machine layout problem in modern manufacturing facilities. *International Journal of Production Research*, 32(11), 2559-2584.
<https://doi.org/10.1080/00207549408957084>
- Hillier, F. S., & Connors, M. M. (1966). Quadratic Assignment Problem Algorithms and the Location of Indivisible Facilities. *Management Science*, 13(1), 42-57.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.13.1.42>
- Hitchings, G. G., & Cottam, M. (1976). An efficient heuristic procedure for solving the layout design problem. *Omega*, 4(2), 205-214. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(76\)90061-X](https://doi.org/10.1016/0305-0483(76)90061-X)
- Instituto Forestal (Chile), Gysling, J., Kahler, C., Soto, D., Mejías, W., Poblete, P., Alvarez, V., Bañados, J. C., Baeza, D., & Pardo, E. (2021). *Madera y construcción. Hacia una simbiosis estratégica*. INFOR. <https://doi.org/10.52904/20.500.12220/31291>
- Ketcham, R. L., Malstrom, E. M., & McRoberts, K. L. (1989). A comparison of three computer assisted facilities design algorithms. *Computers & Industrial Engineering*, 16(3), 375-386. [https://doi.org/10.1016/0360-8352\(89\)90157-5](https://doi.org/10.1016/0360-8352(89)90157-5)
- Khoshnevisan, M., Bhattacharya, S., & Smarandache, F. (2003). *Optimal Plant Layout Design for Process-focused Systems* (arXiv:math/0302031). arXiv.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.math/0302031>
- Kudelska, I. (2012). METHODS OF USING THE QUADRATIC ASSIGNMENT PROBLEM SOLUTION. *LogForum*, 8(3), 177.

- Lacksonen, T. A. (1997). Preprocessing for static and dynamic facility layout problems. *International Journal of Production Research*, 35(4), 1095-1106. <https://doi.org/10.1080/002075497195560>
- Lawler, E. L. (1963). The Quadratic Assignment Problem. *Management Science*, 9(4), 586-599. <https://doi.org/10.1287/mnsc.9.4.586>
- Lee, & Moore. (1967). CORELAP-COMputerized RELationship LAYout Planning. *Jour. Ind. Engg.*, 8(3), 195-200.
- Lin, L. C., & Sharp, G. P. (1999). Quantitative and qualitative indices for the plant layout evaluation problem. *European Journal of Operational Research*, 116(1), 100-117. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00046-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00046-0)
- Lin, Q., & Wang, D. (2019). Facility Layout Planning with SHELL and Fuzzy AHP Method Based on Human Reliability for Operating Theatre. *Journal of Healthcare Engineering*, 2019, 8563528. <https://doi.org/10.1155/2019/8563528>
- MALMBORG, C. J. (1994). Heuristic, storage space minimization methods for facility layouts served by looped AGV systems. *International Journal of Production Research*, 32(11), 2695-2710. <https://doi.org/10.1080/00207549408957093>
- Medina, M., Rojas, R., Bustamante, W., Loaiza, R., Martel, C., & Castillo, R. (2023). *Metodología de la investigación: Técnicas e instrumentos de investigación* (1.^a ed.). Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.080>
- Meneses, B. D. H. (2025). *ANÁLISIS DE LAYOUT MEDIANTE LA METODOLOGÍA SYSTEMATIC LAYOUT PLANNING (SLP) EN LA EMPRESA ABC*.
- Muther, R., & Hales, L. (1950). *Systematic Layout Planning*.
- Quiroga, O., Odetti, I., & Sarasin, T. (2011, octubre 28). *FORMULACIÓN DE UN PROCEDIMIENTO HEURÍSTICO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAYOUTS DE SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE*.
- Rodríguez, A. M. P., Mejía, K. A. P., Pantoja, V. L. C., Quevedo, J. L. P., & Grisales, D. R. A. (2016). Rediseño de una planta productora de lácteos mediante la utilización de las metodologías SLP, CRAFT y QAP. *Scientia et Technica*, 21(4), Article 4. <https://doi.org/10.22517/23447214.12571>
- Sánchez, O. E. A., Montañez, Y. P. B., & Villamarín, C. A. V. (2023). *Mediante la redistribución en planta de una línea de producción*.
- Santos, K. C. C., Aguirre, R. A. S., & Sanabria, G. L. V. (s. f.). *PROPUESTA DE DISEÑO Y DISTRIBUCION DE PLANTA PARA LA EMPRESA ALAMBRES Y MALLAS S.A*.
- Saracho, J. C. T. (2015). *METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE DISTRIBUCIONES EN PLANTAS INDUSTRIALES*.
- Sharma. (2005). Multicriteria heuristic model for design of facilities layout using fuzzy logic and AHP | Request PDF. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/286848918_Multicriteria_heuristic_model_for_design_of_facilities_layout_using_fuzzy_logic_and_AHP
- Silva, E. A. (2022). *Respuesta a un plan de bioestimulación en etapa productiva de cuatro variedades de clavel Dianthus caryophyllus afectadas por estrés abiótico por baja luminosidad, en el municipio de Facatativá, departamento de Cundinamarca*. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/2274>

- Tineo Razuri, P. J., & Gonzalez Laines, J. H. (2016). Redistribución de planta del área de producción para mejorar la productividad en la Empresa Hilados Richards S.A.C – Chiclayo 2015. *Repositorio Institucional - USS*.
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/2309>
- Tompkins, & Reed. (1963). *Un modelo aplicado para el problema del diseño de instalaciones: Revista Internacional de Investigación en Producción: Vol 14, No 5*.
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00207547608956377>
- Wu, Y., & Appleton, E. (2002). The optimisation of block layout and aisle structure by a genetic algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 41(4), 371-387.
[https://doi.org/10.1016/S0360-8352\(01\)00063-8](https://doi.org/10.1016/S0360-8352(01)00063-8)
- Zaied, A. N. H., & Shawky, L. A. E.-F. (2024). A Survey of the Quadratic Assignment Problem. *International Journal of Computer Applications*, 101.

ANEXOS

Anexo 1

Diseño de encuesta

Universidad Nacional de Chimborazo
Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Industrial

Objetivo: Recolectar información sobre distribución de la planta de producción de la empresa “Aserradero Moderno”

1. Sobre tu trabajo actual

1. ¿Cuál es tu función principal en la planta?

○ _____

2. ¿Qué tareas realizas con mayor frecuencia?

○ _____

3. ¿Cuánto tiempo dedica a cada tarea en promedio?

○ _____

2. Distribución y flujo de trabajo

4. ¿Consideras que la ubicación actual de tu estación es adecuada?

○ Sí No ¿Por qué? _____

5. ¿Hay equipos o materiales que deberías tener más cerca para trabajar mejor?

○ _____

6. ¿Qué problemas encuentras en el flujo de materiales o productos?

○ _____

3. Ergonomía y comodidad

7. ¿Te resulta cómodo tu espacio de trabajo?

○ Sí No ¿Por qué? _____

8. ¿Hay movimientos repetitivos o posturas incómodas que te causen molestias?

○ _____

9. ¿Qué cambios mejorarían tu comodidad y reducirían el cansancio?

○ _____

4. Seguridad

10. ¿Qué riesgos identificas en tu área de trabajo?

○ _____

11. ¿Hay zonas donde consideras que la seguridad podría mejorar?

○ _____
12. ¿Has tenido incidentes o casi accidentes? ¿Por qué crees que ocurrieron?

○ _____

5. Ideas y sugerencias

13. Si pudieras cambiar algo en la planta, ¿qué sería?

○ _____

14. ¿Qué equipos o herramientas crees que hacen falta?

○ _____





15. ¿Qué procesos podrían simplificarse?

○ _____

MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACION

Anexo 2

Encuesta realizada a los trabajadores

 <p>Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Industrial</p>  <p>Objetivo: Recolectar información sobre distribución de la planta de producción de la empresa "Aserradero Moderno"</p> <p>1. Sobre tu trabajo actual</p> <p>1. ¿Cuál es tu función principal en la planta? ○ Jefe de planta</p> <p>2. ¿Qué tareas realizas con mayor frecuencia? ○ Operador de la Machimbradora</p> <p>3. ¿Cuánto tiempo dedica a cada tarea en promedio? ○ 3 horas diarias</p> <p>2. Distribución y flujo de trabajo</p> <p>4. ¿Consideras que la ubicación actual de tu estación es adecuada? ○ <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No ¿Por qué? No eside espacio suficiente entre la madera y las maquinarias</p> <p>5. ¿Hay equipos o materiales que deberías tener más cerca para trabajar mejor? ○ Llave reguladora, Hexagonales, Racha, Pico de Loro</p> <p>6. ¿Qué problemas encuentras en el flujo de materiales o productos? ○ Existe mucho tiempo de demóra al trasladar la tabilla de la canteadora 2 a la tierra.</p> <p>3. Ergonomía y comodidad</p> <p>7. ¿Te resulta cómodo tu espacio de trabajo? ○ <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No ¿Por qué? No hay mucha espasio para moverse</p> <p>8. ¿Hay movimientos repetitivos o posturas incómodas que te causen molestias? ○ No, solo el cansancio normal del trabajo</p> <p>9. ¿Qué cambios mejorarían tu comodidad y reducirían el cansancio? ○ Mejorar el espacio</p>	 <p>Universidad Nacional de Chimborazo Facultad de Ingeniería Carrera de Ingeniería Industrial</p>  <p>4. Seguridad</p> <p>10. ¿Qué riesgos identificas en tu área de trabajo? ○ Físicos, Seguridad</p> <p>11. ¿Hay zonas donde consideras que la seguridad podría mejorar? ○ Areas de canteador y cortado</p> <p>12. ¿Has tenido incidentes o casi accidentes? ¿Por qué crees que ocurrieron? ○ Hace un mes ocurrio un accidente en la tierra la tabla se engancho con el monton y le corto el dedo al operario</p> <p>5. Ideas y sugerencias</p> <p>13. Si pudieras cambiar algo en la planta, ¿qué sería? ○ Acamodar mejor las maquinas y aumentar otro lugar para almacenar las duelas.</p> <p>14. ¿Qué equipos o herramientas crees que hacen falta? ○ Un esmeril para afilar las cuchillas de la Presa.</p> <p>15. ¿Qué procesos podrían simplificarse? ○ el repillado se demora mucho</p> <p>Jefe de Planta Emerson Pico 1804636563 Pico</p> <p>MUCHAS GRACIAS POR SU PARTICIPACION</p>
--	---

Anexo 3

Encuesta realizada al jefe de planta



Anexo 4

Area de cepillada y canteado



Anexo 5

Area de almacenamiento



Anexo 6

Medición de la distancia entre la maquina y el material



Anexo 7

Patio de recepción de la materia prima



Anexo 8

Resultados de iteraciones entre los departamentos para el cálculo de TCR del algoritmo constructivo CORELAP

CORELAP 01_iteraciones

Busqueda del departamento más afin a los ya colocados												Departs. Colocados	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-5E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	1	1
Empaqu	10	20	14	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	0	6	7	6	2
Almace	35	15	9	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	6	0	8	2	3
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	4
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	5
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-6E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	1
Almace	35	15	15	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	0	8	2	1
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	2
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	3
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	4
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	5
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-7E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	6

Iteraciones para la obtención de la distribución en planta								Coordenadas Departs. Colocados
0	0	1	2,5	2	0,5	0	0	4 4
0	3	-1E+42	-1E+42	-1E+42	1,5	0	0	5 4
0	6	-1E+42	-1E+42	-1E+42	1,5	0	0	5 5
0	3	7	5,5	2	0,5	0	0	4 5
0	0	0	0	0	0	0	0	3 5
0	0	0	0	0	0	0	0	3 4
0	0	0	0	0	0	0	0	3 3
0	0	0	0	0	0	0	0	
0	3	-1E+42	7,5	3	0,5	0	0	4 4
0	6,5	-1E+42	-1E+42	-1E+42	1,5	0	0	5 4
0	4	-1E+42	-1E+42	-1E+42	1,5	0	0	5 5
0	0,5	1,5	2	1,5	0,5	0	0	4 5
0	0	0	0	0	0	0	0	3 5
0	0	0	0	0	0	0	0	3 4

Valor de la relación de afinidad para colocación	5 8 11,5 7,5 9 8 11
--	---------------------

Anexo 9

Resultados de iteraciones entre los departamentos para el cálculo de TCR del algoritmo constructivo Corelap

CORELAP 01_iteraciones															
Busqueda del departamento más afin a los ya colocados												Departs. Colocados			
Cantea	1244	18	5	0	6	3	1	1	1	1	2	3	1		
Cepill	552	23	4	3	6	0	6	2	1	1	4	8	2		
Cortad	582	20	4	6	0	6	1	1	1	1	3	7	3		
Empaqu	10	20	4	1	1	1	1	6	0	6	7	6	4		
Almace	35	15	4	1	1	1	1	6	0	8	2	2	5		
Machim	102	19	3	1	1	6	0	6	1	1	5	5	5		
Despun	3965	19	2	1	1	2	6	0	6	1	6	4	6		
-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	-1E+41	1			
Cortad	582	20	10	-1E+41	0	6	1	1	1	1	3	7	1		
Cepill	552	23	7	-1E+41	6	0	6	2	1	1	4	8	2		
Empaqu	10	20	5	-1E+41	1	1	1	6	0	6	7	6	3		
Almace	35	15	5	-1E+41	1	1	1	6	0	8	2	2	4		
Machim	102	19	4	-1E+41	1	6	0	6	1	1	5	5	5		
Despun	3965	19	3	-1E+41	1	2	6	0	6	1	6	4	6		
Iteraciones para la obtención de la distribución en planta												Coordenadas Departs. Colocados			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	
0	0	2,5	5	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	
0	0	5	-1E+42	-1E+42	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	
0	0	2,5	5	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	4	
0	0	2	7	8	3	0	0	0	0	0	0	0	5	5	
0	0	4	-1E+42	-1E+42	6	0	0	0	0	0	0	0	4	5	
0	0	2	7	-1E+42	3	0	0	0	0	0	0	0	3	5	
													3	4	
Valor de la relación de afinidad para colocación							5	8	11,5	7,5	9	8	11		

Anexo 10

Resultados del análisis de diseño en WinQSB

03-16-2026 09:09:21	Department Name	Center Row	Center Column	Flow To All Departments	Cost To All Departments	03-16-2026 09:12:27	To A	To B	To C	To D	To E	To F	To G	To H	Sub Total
1	A	2	7,50	2000	2000	From A	0	1	18,50	9,50	15,50	11,50	11,50	13,50	81
2	B	1	7,50	1995	38.902,50	From B	1	0	19,50	10,50	16,50	12,50	12,50	14,50	87
3	C	17	4	1990	25870	From C	18,50	19,50	0	13	4	9	12	5	81
4	D	6	2	1985	33745	From D	9,50	10,50	13	0	17	4	13	8	75
5	E	17	8	1980	25740	From E	15,50	16,50	4	17	0	13	8	9	83
6	F	9	3	1975	17775	From F	11,50	12,50	9	4	13	0	9	4	63
7	G	11	10	1970	13790	From G	11,50	12,50	12	13	8	9	0	7	73
8	H	12	4	0	0	From H	13,50	14,50	5	8	9	4	7	0	61
	Total			13895	157.822,50	Sub-Total	81	87	81	75	83	63	73	61	604
	Distance	Measure: Rectilinear													