



Ingeniería

ISSN: 0121-750X

ISSN: 2344-8393

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Torres Soto, Kelly J; Flórez Peña, Laura S; Sánchez, Carlos W; Castañeda, Néstor M
Metodología SLP para la Distribución en Planta de Empresas
Productoras de Guadua Laminada Encolada (GLG)
Ingeniería, vol. 25, núm. 2, 2020, Mayo-Agosto, pp. 103-116
Universidad Distrital Francisco José de Caldas

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.15378>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=498868273002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEM redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

SLP Methodology for Plant Distribution in Glue Laminated Guadua (GLG) manufacturing companies

Metodología SLP para la Distribución en Planta de Empresas Productoras de Guadua Laminada Encolada (GLG)

Kelly J Torres Soto¹, Laura S Flórez Peña¹, Carlos W Sánchez², Néstor M Castañeda¹

¹Estudiante (Cali, Colombia), ²Docente Investigador Fundación Católica Lumen Gentium (Cali, Colombia)
Correspondence email: ncastaneda@unicatolica.edu.co

Recibido: 07/10/2020. Modificado: 20/01/2020. Aceptado: 27/04/2020.

Abstract

Context: The guadua *Angustifolia* Kunth is a plant derived from bamboo, it is a woody grass that has been identified as vegetable steel, thanks to its properties of flexibility, hardness and elasticity that allows its use at an industrial level as an input for manufacturing planks which are made of laminated guadua (Guadua laminated with glue) that can be used to manufacture beams and other structural elements required by architecture.

Method: In this case, the plant distribution design document was used using the SLP (systematic design planning) methodology, taking the company Guadua Viga as a case of study, where the company processes are characterized and analyzed, the initial requirements were defined and the design of the distribution in the plant was carried out, finally the proposals were evaluated in terms of costs

Results: 3 distribution proposals were made according to the needs of the company and the production process of laminated guadua boards and the alternatives were evaluated in terms of efficiencies.

Conclusions: The alternative that was proposed requires 4.148 m², has an efficiency of 89 % regarding the flow of materials, 62 % efficiency regarding the flow of materials and adjacency.

Keywords: Glue laminated Guadua, system layout planning, production process, material flow efficiency

Acknowledgments: This work was possible thanks to the members of the group's MEFAI, of KHIME-RA research group from the Fundacion Universitaria Catolica Lumen Gentium and FUNVIDA, Thanks to Professor Guillermo Peñaranda and John Eduard Ordoñez

Language: Spanish

Open access



Cite this paper as: K. J. Torres-Soto, L. S. Flórez-Peña, C. W. Sánchez, N. M. Castañeda: "SLP Methodology for Plant Distribution in Glue Laminated Guadua (GLG) Manufacturing Companies", *Ingeniería*, Vol. 25, Num. 2, pp. 103-116 (2020). © The authors; reproduction right holder Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

DOI: <https://doi.org/10.14483/23448393.15378>

Resumen

Contexto: La *Guadua angustifolia* Kunth es una planta derivada del bambú. Es un pasto leñoso que ha sido denominado el acero vegetal gracias a las propiedades de flexibilidad, dureza y elasticidad que permite su uso a nivel industrial como un insumo para fabricar tableros de guadua laminada (*glued laminated guadua*), los cuales pueden ser usados para fabricar vigas y otros elementos estructurales requeridos por la arquitectura.

Método: En este caso se documentó un diseño de distribución en planta mediante la metodología SLP (por sus siglas en inglés de *Systematic Layout Planning*), tomando como caso de estudio la empresa Guadua Viga, donde se caracterizaron y se analizaron los procesos de la empresa, se definieron los requerimientos iniciales y se realizó el diseño de la distribución en planta. Por último, se evaluó la propuesta en términos de costos.

Resultados: Se plantearon tres propuestas de distribución en planta de acuerdo con las necesidades de la empresa y del proceso de producción de tableros de guadua laminada. Además, se evaluaron las alternativas en términos de eficiencias.

Conclusiones: La alternativa que fue propuesta requiere de 4.148 m², cuenta con una eficiencia de 89 % respecto al flujo de materiales y un 62 % de eficiencia respecto al flujo de materiales y adyacencia.

Palabras clave: Guadua laminada encolada, diseño y distribución en planta, proceso de producción, eficiencia de flujo materiales.

Agradecimientos: Este trabajo fue posible gracias a los integrantes del semillero MEFAI del grupo de investigación KHIMERA de la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium y a FUNVIDA, Agradecimientos al profesor Guillermo Peñaranda y John Eduard Ordoñez.

Idioma: Español

1. Introducción

La guadua es un bambú leñoso perteneciente a la familia de las gramíneas. En América se encuentran alrededor de 500 especies, de estas, las variedades prioritarias de bambú representan el 4 % de dicha cantidad. En Colombia prima la *Guadua angustifolia* Kunth que se caracteriza por tener excelentes propiedades físico-mecánicas, gran durabilidad y un promedio de 11 cm por día en cuanto a su velocidad de crecimiento; además, ayuda a enriquecer el ecosistema y a controlar la erosión del suelo, sin dejar a un lado la mitigación del cambio climático, ya que la guadua es más eficiente en el proceso de captar el CO₂ y emitir oxígeno [1], [2].

En la construcción, la *Guadua angustifolia* ofrece una excelente relación resistencia-peso y flexibilidad arquitectónica, por lo que se convierte en un recurso potencial para la construcción sostenible [3]. Gracias a las propiedades estructurales que tiene, la guadua se puede utilizar para elaborar productos industrializados como aglomerados, pisos, paneles, esteras, pulpa, papel y laminados. Estos últimos son fabricados usando aglomerantes y sometiendo el conjunto a presión. La técnica se denomina guadua laminada encolada (GLG por sus siglas en inglés de *glued laminated guadua*) [4].

Involucrar la guadua en los sistemas de producción permite avanzar en su investigación e industrialización al convertirla en una alternativa económica y viable que beneficia a las comunidades rurales [1], [2]. Las industrias pertenecientes a este sector son recientes y están intentado subsistir en un entorno que los lleva a competir con otros de trayectoria, incluso con materiales que son

importados. Para sostenerse, deben hacer uso de metodologías o actividades que les permitan aumentar la eficacia de los procesos internos en las empresas, mejorando la calidad de los productos y sus tiempos de entrega, lo que satisface cada vez las expectativas de los clientes [5].

Para disminuir los costos de producción y desperdicios en las industrias del GLG se requiere un balance hombre-máquina-material, el cual es posible por medio de un correcto diseño de la distribución en planta [6]. La planeación sistemática de la distribución en planta (SLP, por sus siglas en inglés de *Systematic Layout Planning*) es una herramienta que permite una utilización eficiente de los recursos, organización de las áreas de trabajo y equipos de la industria, optimización de los procesos, mayor nivel de competitividad y mejoramiento continuo, ya que no solo abarca un estudio cuantitativo de las dimensiones de la planta, también evalúa de manera cualitativa las relaciones entre áreas, el flujo de materiales, la comodidad de los trabajadores y los requerimientos específicos de los procesos y almacenamientos. Adicionalmente, es la metodología más aceptada y utilizada para la resolución de problemas de distribución de planta [7], [8].

En este caso, se presenta el diseño de la distribución en planta para la elaboración de vigas estructurales en GLG con el fin de proporcionar una solución a los diferentes problemas que se generan en empresas de este sector, tales como almacenamiento de materia prima y producto terminado, gestión de suministros, desperdicios, movimientos innecesarios, ordenamiento de áreas, productividad, cumplimiento en requerimientos y necesidades del cliente, entre otros.

2. Metodología

Se realizaron tres fases, tal y como lo realizaron Suhardi *et al.* [5], y Benítez *et al.* [9]. La primera fase consistió en recolectar la información requerida para realizar la distribución mediante visitas de campo a empresas del sector. Como resultado de esta etapa se definieron los procesos de producción de la guadua laminada encolada y el espacio disponible para la planta de producción.

La segunda fase fue la aplicación de la metodología SLP a una empresa del sector donde se realizaron: análisis de las relaciones de actividades, se construyó un diagrama adimensional de bloques, se realizó un diagrama de la relación de recorridos y actividades, y, por último, un diagrama relacional de espacios.

En la tercera fase se realizó una propuesta de distribución de planta teniendo en cuenta la información recolectada y analizada con anterioridad.

3. Resultados

3.1. Análisis del proceso

De acuerdo con Castañeda y Paternina [2], en un estudio sobre la viabilidad técnica de fabricar tabloncillos con guadua laminada en Colombia y a las visitas de campo realizadas a empresas del sector, se determinó que el proceso de elaboración de vigas estructurales en GLG puede describirse como una producción en línea dividida en etapas que se especifican en la Figura 1. Las actividades

que se desarrollan en cada etapa del proceso son dependientes, es decir, no se pueden llevar a cabo hasta que no se cumplan las que la anteceden.

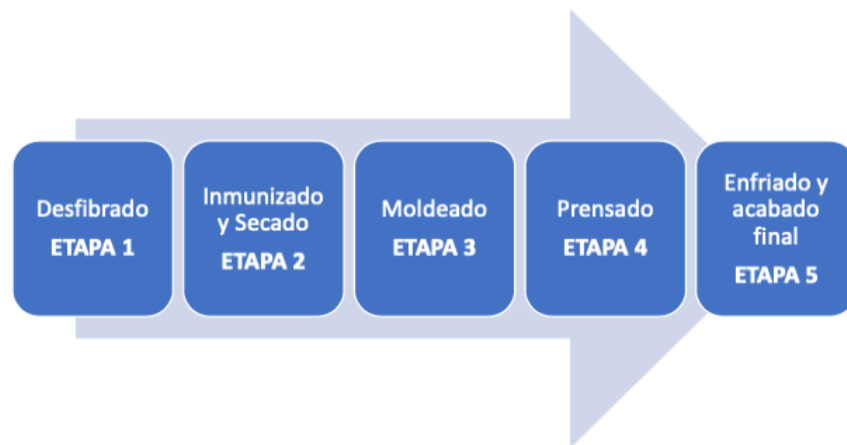


Figura 1. Proceso de producción de vigas en GLG.

3.2. Descripción del proceso

El proceso de la Figura 1 empieza con el almacenamiento previo de las materias primas que han sido recibidas según los requerimientos previamente acordados con los proveedores. La primera etapa del proceso de producción de GLG lo constituye el desfibrado, este consiste en remover la parte externa de la guadua para luego cortarla y almacenarla [2], [4].

La segunda etapa es el preservado y secado. Esto inicia con el traslado de las fibras de la guadua resultante del proceso anterior a la autoclave, donde se les realiza un baño de vapor saturado a 100 °C. Una vez hecho esto, se trasladan al horno para realizar el secado de las mismas y así disminuir el nivel de humedad hasta un 7 % para después almacenarlas en canastillas al igual que el primer proceso [10].

Cuando la fibra de guadua alcanza la humedad deseada se procede con el moldeado, proceso en el cual se traslada el aglutinante y se aplica a unos rodillos para realizar un encolado a las fibras, se alistan unos moldes metálicos y se llenan con fibra aglutinada. Al final del proceso se verifica la calidad del trabajo mediante observación directa [4].

La cuarta etapa corresponde al prensado, donde se traslada el molde a dicha área, se cargan los moldes a una prensa calefactora y se prensan con el fin de obtener tableros de guadua. Se extraen los moldes y se almacenan hasta que el producto se enfríe para desmoldarlo [10].

Así, se pasa a la quinta y última etapa del proceso: el acabado final. En este se cortan los tableros a las medidas del cliente y se hacen operaciones de acabado tales como el lijado y la aplicación de barniz. Esta etapa culmina con un almacenamiento como producto terminado para el futuro traslado al cliente.

El proceso en total cuenta con 27 actividades inmersas en cinco etapas, catorce de las actividades corresponden a operaciones, dos son inspecciones, seis transportes y cinco almacenamientos. Para una duración estimada total del proceso de 40,47 horas.

3.3. Requerimiento del proceso

De acuerdo con la metodología SLP que fue llevada a cabo por Potadar *et al.* [8], se requiere definir los requerimientos iniciales para llevar a cabo la distribución en planta; por lo tanto, se establecieron teniendo en cuenta la estructuración con la que contaba el plan de negocio correspondiente a Guadua Viga, empresa que en el momento de realizar el estudio exploraba la idea de comercializar tablones de guadua:

- Terreno de 5000 m² para la construcción de la planta.
- Producción inicial de 50 tablones por semana y un pronóstico a cinco años de 125 (Tabla I).
- Demanda de 250 kg de guadua para la elaboración de cada tablón.
- Los tablones a fabricar tienen 6 m de largo, 0.5 m de ancho y 0.65 m de alto.
- La resina urea formaldehído utilizada en el proceso de encolado como aglutinante se debe almacenar en un lugar fresco y frío, con buena iluminación y alejado de la luz solar directa.
- Las condiciones de almacenamiento del ácido bórico requieren de un ambiente seco y con buena ventilación, lejos de fuentes de ignición o calor. Se recomienda disponer de duchas de seguridad o lavajos a su entrada o salida.

Tabla I. Demanda de vigas estructurales pronosticada a cinco años con datos de Guadua viga.

Año	1	2	3	4	5
Tablones por semana	50	67	83	100	125

3.4. Diseño de la distribución en planta

3.4.1. Análisis de las relaciones entre actividades

Al conocer la secuencia de actividades requeridas para la elaboración de vigas estructurales en GLG, se estableció el tipo y la intensidad de las interacciones existentes entre las mismas, los medios auxiliares, los sistemas de manipulación y los diferentes servicios de la planta de acuerdo con la importancia de la cercanía entre cada una de las áreas [11]. Teniendo en cuenta el flujo de materiales, información y restricciones de los elementos químicos utilizados en cada una de ellas, para ellos se realizó el diagrama relacional de actividades donde gráficamente se muestra como una matriz donde, al cruzarse las variables (áreas de la empresa), se generan unos niveles de importancia que vienen dados por los siguientes parámetros (Figura 2): A (absolutamente importante), E (especialmente importante), I (importante), O (importancia ordinaria), U (sin importancia), X (indeseable).

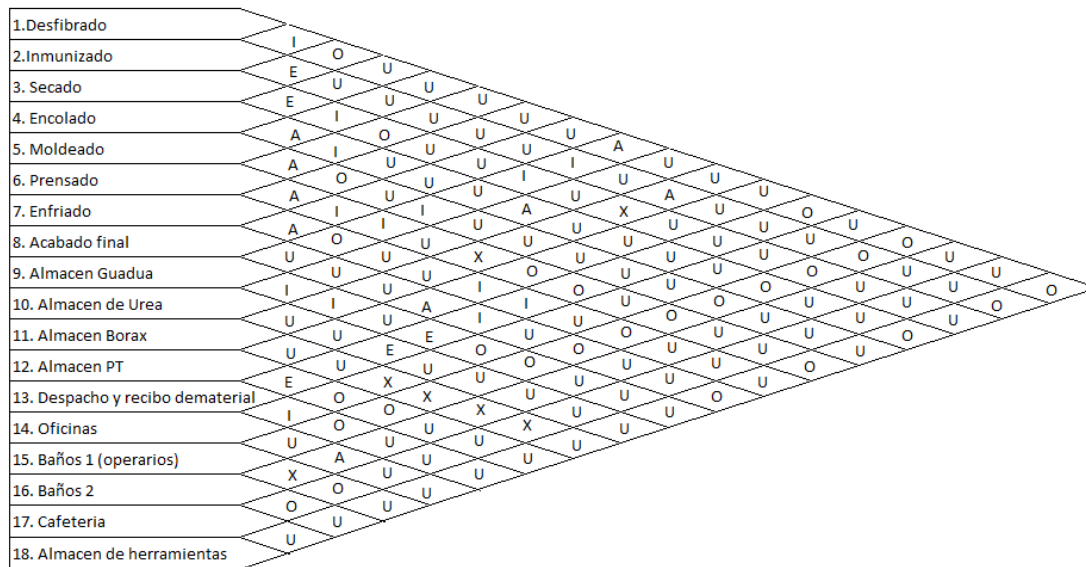


Figura 2. Diagrama relacional de recorridos y actividades del proceso de elaboración de vigas estructurales en GLG.

El almacenamiento del bórax no debe estar cerca de áreas calientes ni pobladas, o donde las personas ingieran o almacenen alimentos, por ejemplo, las zonas de secado y prensado, la cafetería, baños y oficinas administrativas. Adicionalmente, se hace evidente un requerimiento de cercanía absoluta o especial en las actividades que corresponden a las etapas del proceso productivo (Figura 2).

3.4.2. Diagrama adimensional de bloques

Según Potadar *et al.* [8], de acuerdo con la intensidad de las relaciones se representaron cada una de las áreas de la empresa en “bloques”, donde el número del centro indica el área, los números ubicados en las esquinas son las áreas con las que existen relaciones tipo A, E, I, O y los números bajo el área son las relaciones que tienen restricción, por lo tanto, representan las de tipo X.

Para estipular la ubicación de las áreas se inició con las relaciones tipo A; por ende, estas siempre contarán con adyacencia. Se continuaron con las de tipo E, las cuales, deben ubicarse de tal modo que las esquinas de las áreas correspondientes tengan contacto (en caso de no contar con adyacencia). Finalmente, las demás áreas se ubican rellenando los espacios entre la planta, teniendo en cuenta que las áreas de tipo X no deben tener ningún contacto entre ellas.

En la Figura 3 se visualiza la ubicación y adyacencia de las áreas de acuerdo con las relaciones estipuladas, además, se detalla por medio de flechas el flujo correspondiente a las etapas del proceso productivo desde el recibo de materia prima hasta el despacho del producto terminado.

3.4.3. Desarrollo del diagrama relacional de recorridos o actividades

El diagrama relacional de recorridos es un gráfico en el que las áreas son representadas como nodos unidos por líneas. Estas últimas representan la intensidad de la relación (A, E, I, O, U, X)

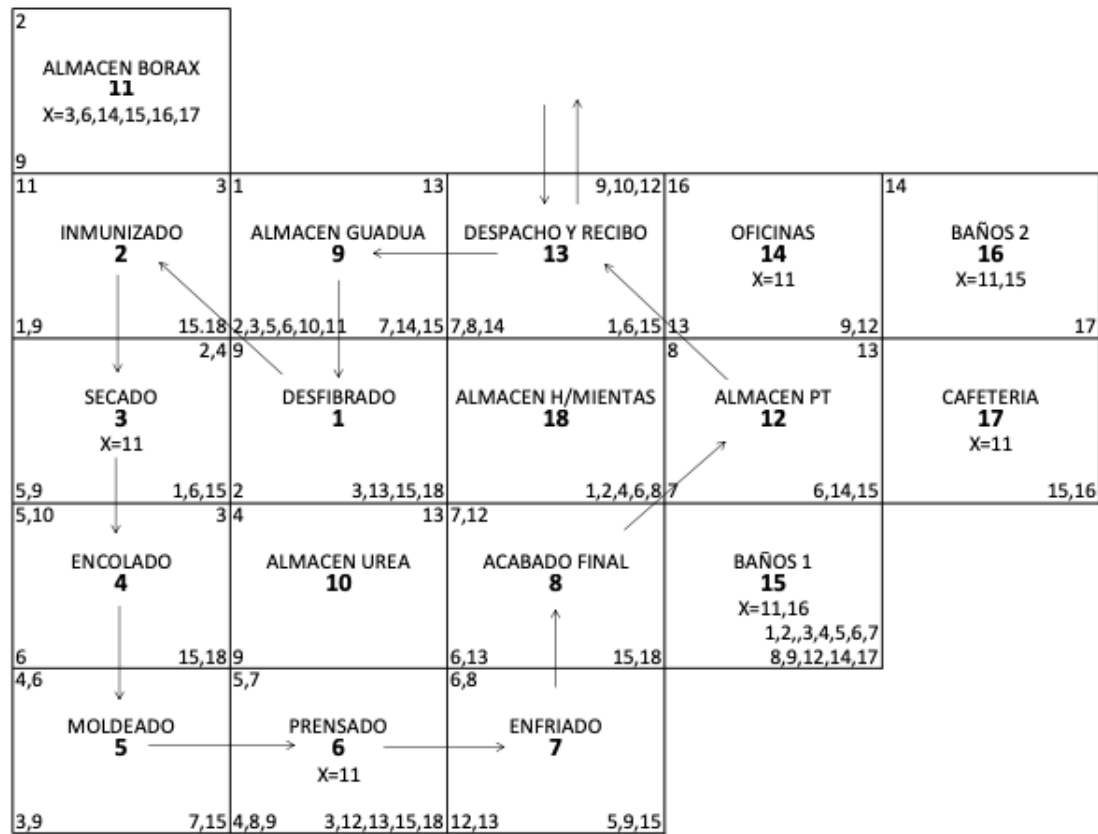


Figura 3. Diagrama adimensional de bloques del proceso de vigas estructurales en GLG

dada en el análisis de las relaciones entre actividades de acuerdo con el código de líneas (A cuatro líneas, E tres líneas, I dos líneas, X línea curva punteada). En este se detalla no solo el tipo de operación que se efectúa en cada área, sino que permite analizar el hecho de que efectivamente las relaciones tipo A, en su mayoría, se encuentran adyacentes y las de tipo X se encuentran separadas, por lo que cumplen el objetivo de la metodología SLP [8] (Figura 4).

3.4.4. Desarrollo del diagrama relacional de espacios

Se realizó un diagrama donde se definieron la estructura y la forma como una representación a escala del tamaño que ocupa cada área proporcional al espacio requerido en la planta física, ya que para su elaboración se tiene en cuenta un estudio de espacios y las necesidades de cada área respecto a dicha variable (Figura 5).

3.5. Propuesta final de la distribución de planta

Teniendo en cuenta el diagrama relacional de espacios, se elaboran tres alternativas (Anexo 1, Anexo 2 y Anexo 3). Para evaluar las alternativas propuestas se usó el método de adyacencia relativa [12], donde se tiene en cuenta las adyacencias de las áreas y la ponderación de importancias de acuerdo con el diagrama de relaciones, además, se usó la convención de la Tabla IV.

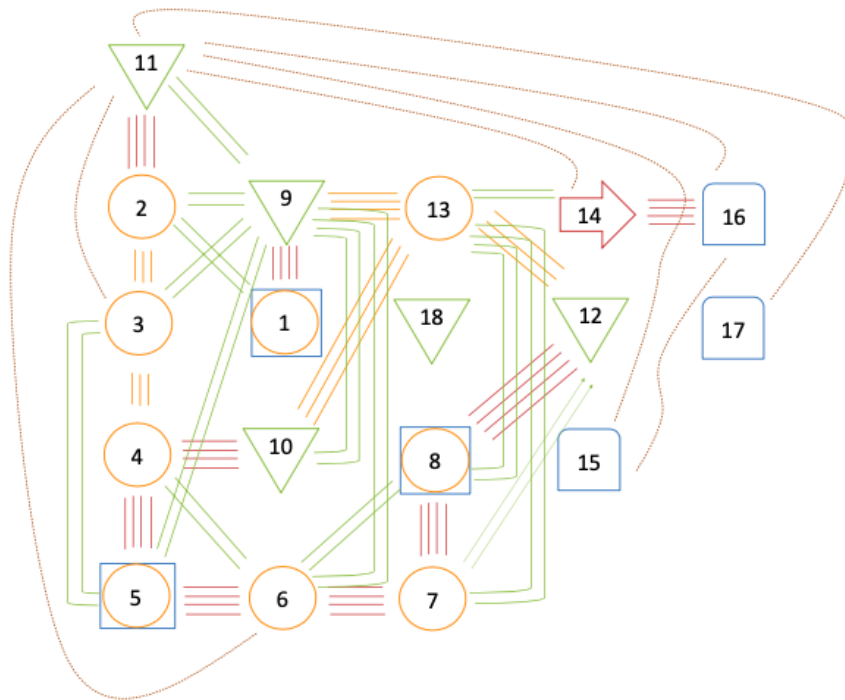


Figura 4. Diagrama relacional de recorridos y actividades

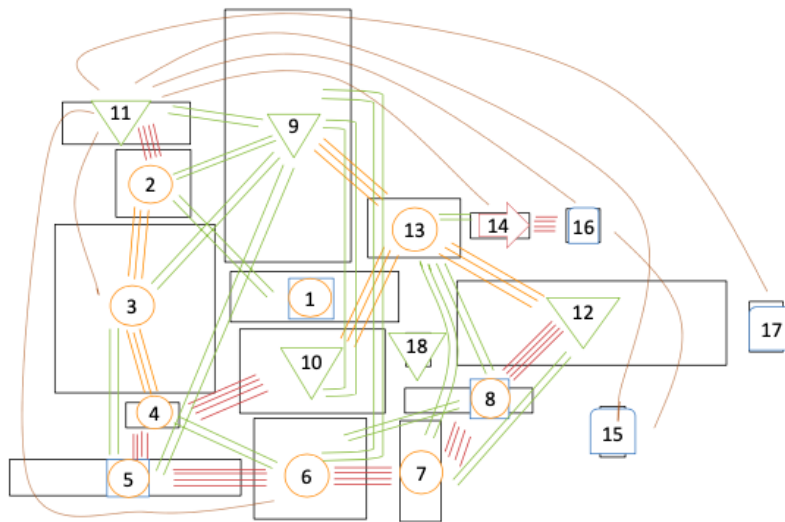


Figura 5. Diagrama relacional de espacios

Tabla II. Convención usada.

Letra	Ponderación
A	4
E	3
I	2
O	1
X	-1

Con la Tabla IV se construyó la Tabla III, donde se muestra la evaluación realizada.

Tabla III. Método de adyacencia relativa.

Fij			Xij		
Relación	Importancia	Valor	n°1	n°2	n°3
F1 9	A	4	1	1	1
F1 2	I	2			
F1 3	O	1	1	1	1
F1 13	O	1			
F1 15	O	1	1		
F1 18	O	1	1	1	1
F2 11	A	4	1	1	1
F2 3	E	3	1	1	1
F2 9	I	2	1	1	1
F2 15	O	1			
F2 18	O	1			
F3 4	E	3	1	1	1
F3 5	I	2	1	1	1
F3 9	I	2	1	1	1
F3 6	O	1			
F3 15	O	1			
F3 11	X	-1			
F4 5	A	4	1	1	1
F4 6	I	2	1	1	1
F4 15	O	1			
F4 18	O	1			
F5 6	A	4	1	1	1
F5 9	I	2			
F5 7	O	1	1	1	1
F5 15	O	1			
F6 7	A	4	1	1	1
F6 8	I	2	1		
F6 9	I	2			
F6 12	O	1			
F6 13	O	1			
F6 15	O	1			1

Fij			Xij		
Relación	Importancia	Valor	n°1	n°2	n°3
F6 18	O	1			
F6 11	X	-1			
F7 8	A	4	1	1	1
F7 12	I	2			
F7 13	I	2			
F7 9	O	1			
F7 15	O	1			1
F8 12	A	4			
F8 13	I	2			
F8 15	O	1			
F8 18	O	1			
F9 13	E	3	1	1	1
F9 10	I	2			
F9 11	I	2	1	1	1
F9 14	O	1			
F9 15	O	1			
F10 13	E	3			
F11 14	X	-1			
F11 15	X	-1			
F11 16	X	-1			
F11 17	X	-1			
F12 13	E	3	1		1
F12 14	O	1			
F12 15	O	1		1	
F13 14	I	2	1	1	1
F13 15	O	1			
F14 16	A	4	1	1	1
F15 17	O	1			
F15 16	X	-1			
f16 17	O	1	1	1	1
TOTALES		95	59	54	58

Con los datos anteriores, y teniendo en cuenta a Suhardi, Juwita y Astuti [5], se realizó el cálculo de la eficiencia de adyacencia relativa usando la ecuación (1).

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} \cdot x_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij}} \quad (1)$$

Donde n es la cantidad de áreas, E es la eficiencia, f es el flujo del área i a j , x es 1 si hay adyacencia y 0 si no la hay.

La alternativa propuesta en el Anexo 4 cuenta con una eficiencia de 89 % respecto al flujo de materiales y un 62 % respecto a la adyacencia relativa, mientras que las otras alternativas tienen 57 % y 61 % respectivamente.

3.6. Análisis costos

Con base en los antecedentes hallados de la propuesta de diseño y distribución en planta para el proceso de elaboración de vigas estructurales en GLG, se detallan las variables que influyen en una posible inversión económica (Tabla 4).

Tabla IV. Convención usada.					
	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>	<i>Precio</i>	<i>Unidad</i>	<i>Subtotal</i>
<i>Estudio Layout</i>	720	Horas/ Hombre	\$ 3,073.82	Salario mínimo hora	\$ 2,213,151
<i>Sistemas complementarios</i>			\$ 53,750	\$	\$ 53,750
<i>Costo de oportunidad</i>	1,800	tablón/ mes	\$ 1,200,000.00	\$/tablón	\$ 2,160,000,000
<i>Terreno</i>	4,147	m ²	\$ 96,455.27	\$/m ²	\$ 400,000,000
<i>Obra civil</i>	4,147	m ²	\$ 11,914	\$/m ²	\$ 49,407,358
<i>Construcción Bodega</i>	4,147	m ²	\$ 1,866,667	\$/m ²	\$ 7,741,066,667
<i>Pintura y señalización</i>	2,074	m ²	\$ 12,603	\$/m ²	\$ 26,132,321
<i>Ubicación máquinas</i>	15.00	kg	\$ 2,002,987	\$/Kg	\$ 30,044,809
Total					\$ 10,408,918,055

4. Discusión de resultados

En el proceso de diseño de la distribución de planta se pudieron corroborar los datos presentados por Castañeda y Valencia [10], y Restrepo *et al.* [4]. En cuanto a cantidad de actividades (27) y número de etapas (5), se diferenció la duración del proceso debido a la cantidad de tablonos producidos en cada estudio y las dimensiones requeridas por la empresa.

Aunque a los requerimientos del proceso de Restrepo y *et al.* [4] varían con respecto a los de Castañeda y Paternina [2], existe una similitud en los procesos de producción: la distribución de planta seleccionada puede ser aplicada en ellos y en futuras empresas si se logran parametrizar las áreas con respecto a un volumen de producción semanal.

Las empresas que no realizan los ejercicios de distribución de planta se exponen a tener bajas eficiencias en cuanto al flujo de materiales, debido a que sus distribuciones pueden no estar acordes porque organizan sus áreas sin hacer los análisis de adyacencia requeridos en la metodología SLP. Por lo tanto pueden tener áreas que estén juntas y deben estar separadas o viceversa, exponiéndose a riesgos innecesarios al no tener en cuenta los requerimientos que plantea la seguridad industrial en cuanto a los espacios y disposiciones de seguridad de los productos, tal como ocurre en este caso con el bórax. Este último debió ser aislado en zonas de alto tránsito y alejado de las altas temperaturas. Los ejercicios de distribución de planta no deben ser ejercicios aislados, deben ser integrales, ya que de ello depende la productividad de la empresa.

Los resultados de este caso pueden servir de base para futuros estudios de viabilidad económica para empresas del sector de la guadua laminada, ya que se realizó una estimación del espacio necesario, la organización y los costos de una posible inversión inicial

5. Conclusiones

El diseño de la distribución en planta aquí propuesto cuenta con un tamaño total aproximado de 4.148 m², está planeado idealmente para cumplir una demanda semanal inicial de 50 tablones de guadua de 6 m de largo, 0,5 m de ancho y 0,65 m de alto; para esto, se requieren 12.500 kg de guadua semanalmente. La planta requiere ser organizada en dieciocho áreas, ocho de ellas correspondientes al proceso productivo y cinco son almacenes. El lugar donde se almacenará el bórax debe estar separado de áreas calientes como la de secado y prensa; adicionalmente, debe contar con distanciamiento respecto al consumo o aglomeración de personas, por ejemplo, la cafetería, los baños y las oficinas.

Todas las áreas enmarcadas en las etapas del proceso deben encontrarse adyacentes unas con otras, con la excepción de la relación entre el desfibrado y el inmunizado, puesto que la segunda actividad está mayormente ligada al almacén que suministra el insumo para tal proceso.

La eficiencia de la propuesta en cuanto a al flujo de materiales es del 89 % y en cuanto al flujo y adyacencia de materiales es del 62 %. El costo aproximado de implementar la distribución de planta propuesta es de aproximadamente 10.500 millones de pesos y puede tenerse en cuenta para análisis de factibilidades para empresas del sector.

Referencias

- [1] E. Salas, “Actualidad y futuro de la arquitectura de bambú en Colombia”, Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2006. <http://hdl.handle.net/10803/6130> ↑104
- [2] N. M. Castañeda y A. Paternina, “Estudio de factibilidad técnica y financiera de producir GLG” Tesis de grado, Universidad ICESI, Cali, 2018. http://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/10906/84783 ↑104, 105, 106, 112
- [3] P. Van der Lugt, A. Van den Dobbelsteen y J. Janssen, “An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures”, *Construction and Building Materials*, vol. 20, n.º 9, pp. 648–656, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.023> ↑104
- [4] Á. Restrepo, R. Becerra y J. E. Tibaquirá G., “Energetic and carbon footprint analysis in manufacturing process of bamboo boards in Colombia”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 126, pp. 563–571, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.144> ↑104, 106, 112
- [5] B. Suhardi, E. Juwita y R. D. Astuti, “Facility layout improvement in sewing department with Systematic Layout planning and ergonomics approach,” *Cogent Engineering*, vol. 6, n.º 1, 2019. <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1597412> ↑105, 111
- [6] Centro Europeo de Empresas Innovadoras de Valencia (CEEI Valencia), *Distribución en Planta*, Centro Europeo de Empresas Innovadoras de Valencia, 2008. ↑105
- [7] R. Muther, *Distribución en planta*. Barcelona: Editorial Hispano Europea, 1981. ↑105
- [8] O. V. Potadar, G. S. Kadam, H. Vasudevan, V. Kottur y A. Raina, “Development of Facility Layout for Medium-Scale Industry Using Systematic Layout Planning”, en *Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation*, noviembre 2018. ↑105, 107, 108, 109
- [9] G. B. Benitez, F. S. Fogliatto, R. B. Cardoso, F. S. Torres, C. S. Faccin y J. M. Dora, “Systematic Layout Planning of a Radiology Reporting Area to Optimize Radiologists’ Performance”, *Journal of Digital Imaging*, vol. 31, n.º 2, pp. 193–200, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10278-017-0036-9> ↑105
- [10] N. M. Castañeda y G. Valencia, “Diseño Prensa Calefactora De platos Verticales”, Trabajo de grado, Universidad del Valle, Cali, 2013. <https://opac.univalle.edu.co/cgi-olimp/?infile=details.glu&rs=6314107&hitno=3&luid=848273> ↑106, 112

- [11] S. Naqvi, M. Fahad, M. Atir, M. Zubair y M. M. Shehzad, "Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning", *Cogent Engineering*, vol. 3, n.º 1, 2016. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1207296> ↑107
- [12] P. Pérez, "Evaluación De La Distribución Espacial De Plantas Industriales Mediante Un Índice De Desempeño", *Revista de Administração de Empresas*, vol. 56, n.º 5, pp. 533-546, 2016. <https://doi.org/10.1590/s0034-759020160507> ↑109

Nestor Mauricio Castañeda Peñaranda



Ingeniero mecánico de la Universidad del Valle año 2013, Magister en Ingeniería Industrial Universidad ICESI año 2018, Docente Investigador perteneciente al grupo KHIMERA de la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, docente mecánica Industrial IET Ciudadela Desepaz de la ciudad de Cali.

Correo electrónico: ncastaneda@unicatolica.edu.co

Carlos William Sánchez



Físico de la Universidad del Valle año 2008, Magister en Ciencias Física de la Universidad del Valle 2013, Doctor en Ciencias Física de 2019 de la Universidad del Valle. Docente investigador perteneciente al grupo KHIMERA de la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, vinculado a la institución desde el año 2012.

Correo electrónico: csanchez@unicatolica.edu.co.

Laura Sofía Flórez Peña



Ingeniera industrial de la Universidad de Ibagué convenio Unicatolica 2018, curso Gerencia de proyectos PMI Universidad San Buenaventura 2018. Analista de Información y seguimiento del proceso de selección de tantos a nivel nacional Eficacia S.A.

Correo electrónico: laura-sofia@hotmail.com

Laura Sofía Flórez Peña



Ingeniera Industrial de la Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium año 2018, Coordinadora de Producción en la empresa Ovopacific SAS de la ciudad Santiago de Cali desde el año 2017

Correo electrónico: Kellyto-12@hotmail.com.

6. Anexos

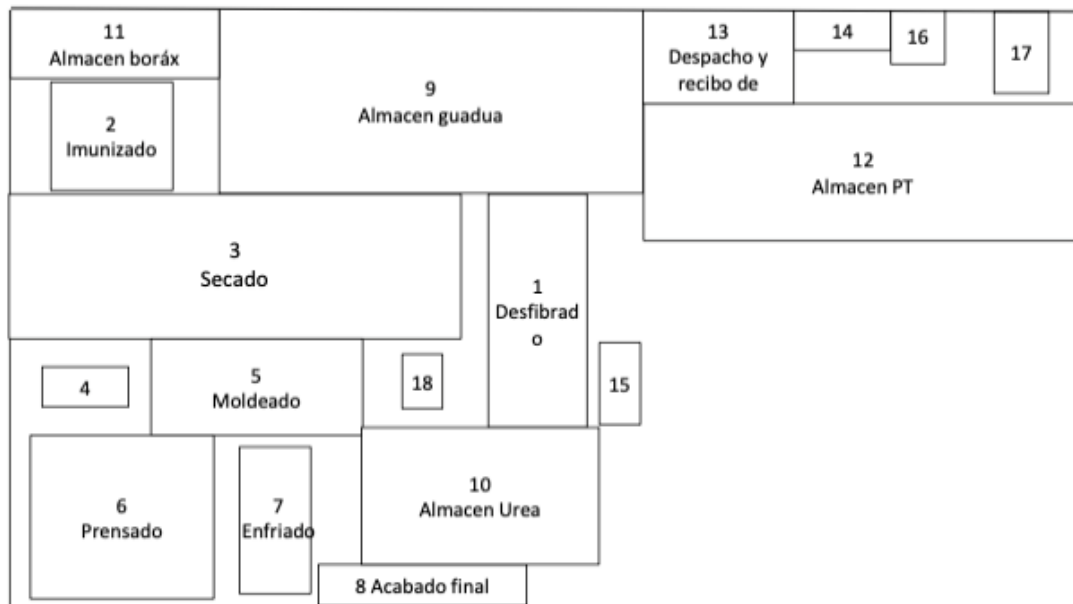


Figura 6. Propuesta 1 distribución planta

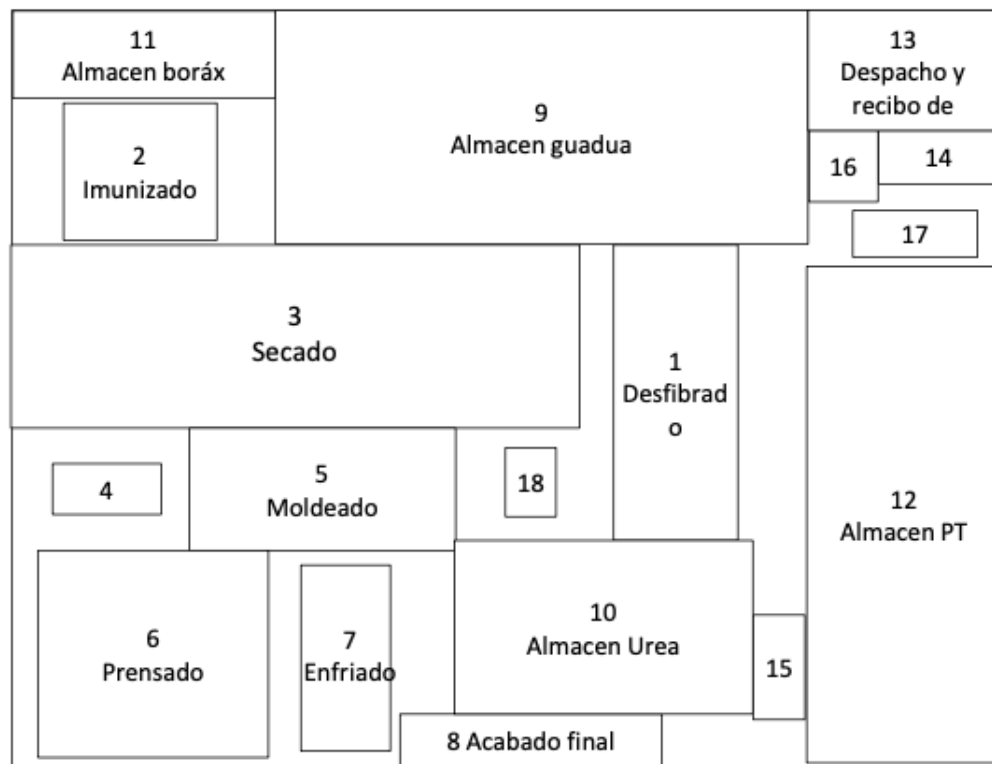


Figura 7. Propuesta 2 distribución planta



Figura 8. Propuesta 3 distribución planta

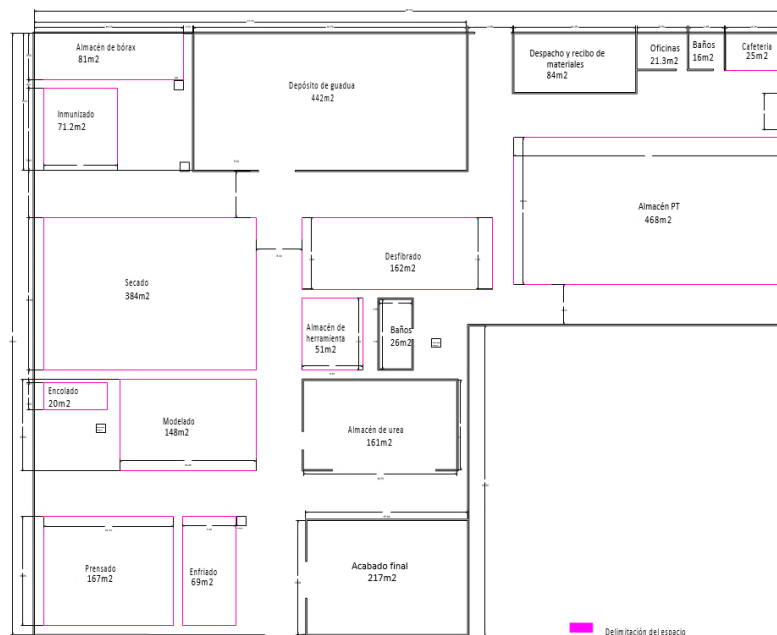


Figura 9. Propuesta 4 distribución planta