



Diseño físico de planta del área de ensamble en Fuel Control Solutions S. A. S: Una propuesta de mejora a través de la metodología SLP (Systematic Layout Planning)

Physical plant design of the assembly area at Fuel Control Solutions S. A. S: A proposal for improvement through the SLP methodology (Systematic Layout Planning)

Angel David Ballesteros Cuadrado
adaballesteros@poligran.edu.com
Estudiante de ingeniería industrial
Politécnico Gran Colombiano
Colombia

Tutor Principal:
Gustavo Andrés Araque González

Resumen

El área de ensamble de Fuel Control Solutions S. A. S. (FCS) presenta una distribución física poco orientada al flujo, con mezcla de zonas de trabajo, almacenamiento y circulación, además de pasillos parcialmente obstruidos, materiales en el piso, falta de delimitación entre áreas funcionales y dispersión de herramientas e inventario. Estas condiciones generan recorridos innecesarios, cruces entre personas y materiales, dificultades de control visual, mayores tiempos de búsqueda y un uso ineficiente del espacio, afectando tanto la seguridad como el desempeño operativo del proceso. Este análisis coincide con la temática distribución en planta, la cual destaca que el layout influye directamente en la eficiencia, el manejo de materiales y la productividad. Frente a esta situación, el presente trabajo propone mejorar el área mediante la metodología Systematic Layout Planning (SLP), por ser un enfoque que permite estructurar el rediseño de instalaciones con base en el análisis de relaciones entre actividades, requerimientos de espacio, cercanía funcional y flujo de materiales. Su aplicación resulta pertinente ante problemas como recorridos excesivos, congestión y desarticulación entre áreas. Como apoyo, el uso de SketchUp permitirá representar el layout actual y la propuesta de mejora en un entorno tridimensional, facilitando la validación espacial y la comunicación visual del proyecto. En conjunto, el rediseño busca reducir movimientos innecesarios, optimizar el uso del espacio y fortalecer la eficiencia del área de ensamble.

Palabras clave

Distribución en planta, Systematic Layout Planning, Sketchup, análisis de flujo de materiales, Productividad.

"Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA".

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

INTRODUCCIÓN

El diseño físico de una planta o taller constituye una decisión estratégica dentro de la gestión de operaciones, ya que la distribución en planta y el flujo determinan en gran medida la eficiencia y efectividad de las operaciones (Slack et al., 2016). La literatura especializada reconoce que la distribución en planta afecta la eficiencia y la efectividad del proceso productivo, pues determina la disposición de estaciones, áreas de trabajo, almacenamiento y sistemas de manejo de materiales dentro de la instalación. Cuando esta distribución no responde a una lógica operativa clara, aparecen recorridos innecesarios, congestión, costos de manejo más elevados y restricciones para el desempeño del sistema. En el caso del área de ensamble de Fuel Control Solutions S. A. S., el diagnóstico previo elaborado a partir de las fotografías y del plano 2D evidenció una configuración espacial con múltiples debilidades: flujo no lineal, coexistencia desordenada entre materiales, equipos y circulación, pasillos parcialmente invadidos, ausencia de señalización visible y falta de organización clara del inventario y las herramientas. En términos operativos, estas condiciones afectan la continuidad del proceso, dificultan la localización de insumos y generan tiempos improductivos. Desde la perspectiva de la ingeniería industrial, este tipo de problemas se asocia directamente con deficiencias de layout y con un manejo ineficiente del flujo de materiales.

Para atender esta problemática, la presente propuesta se apoya en la metodología **Systematic Layout Planning (SLP)**, ampliamente utilizada en el rediseño de instalaciones industriales por su capacidad para integrar relaciones de cercanía, secuencia operativa, requerimientos de espacio y análisis del flujo. Su vigencia se mantiene en la investigación contemporánea sobre facility layout, donde se sigue considerando el layout como un factor determinante para reducir distancias, minimizar costos de manipulación y mejorar el rendimiento del sistema productivo. Asimismo, el análisis del flujo de materiales se asume como criterio central para sustentar técnicamente cualquier redistribución. De forma complementaria, el uso de **SketchUp** permite trasladar la propuesta a una representación tridimensional que facilita la visualización del área actual, la validación de espacios y la comunicación del diseño propuesto. En esa medida, el trabajo articula diagnóstico físico, análisis de flujo y modelado espacial para formular una alternativa de mejora que contribuya a elevar la productividad del área de ensamble. Así, la investigación se ubica en la intersección entre distribución en planta, planeación sistemática del layout y herramientas digitales de apoyo al diseño industrial. (Muther & Hales, 2015; Suhardi et al., 2021).

De acuerdo con lo anteriormente planteado, el proyecto se desarrolla en las siguientes fases metodológicas: 1)Presentación de la empresa y caracterización operacional de caso de estudio FCS (diagrama de flujo); 2)Análisis de distancias y tiempos atreves de cursograma analítico;3)Identificación de mudas (desperdicios) asociados al proceso industrial FCS (diagrama de Ishikawa);4)Elaboración de diseño físico de planta actual en software Sketchup;4)Desarrollo de la metodología de 6 pasos de Richard Mutter (Systematic layout Planning).5)Determinación de las restricciones físicas de planta para el caso de estudio actual. 6)Presentación de propuesta de mejora 1: Diseño físico de planta con enfoque en SLP y análisis de recorrido en diagrama adimensional de bloques.7)Presentación de propuesta de mejora 2: Diseño físico de planta con enfoque en SLP y análisis de recorrido en diagrama adimensional de bloques.8)Análisis de costos, tiempos y distancias; en propuesta de mejora 1 y 2; 9)Determinación de la propuesta optima a implementar en el caso de estudio con el software SketchUp. 10) Determinación de propuesta de mejora espacial: Análisis de Gerchet .Los resultados anteriores muestran que el desarrollo de este trabajo fue

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

pertinente porque permitió transformar un problema inicialmente observado de manera cualitativa recorridos innecesarios, cruces de circulación, dispersión de herramientas y deficiencias en la organización del área; en una comparación cuantitativa entre alternativas de distribución. En lugar de seleccionar una propuesta únicamente por su apariencia en SketchUp o por apreciaciones subjetivas, el estudio utilizó indicadores comunes de distancia, tiempo, costo y capacidad productiva, lo que proporcionó una base objetiva para evaluar cuál distribución respondía mejor a las necesidades del taller de ensamble

MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan los conceptos y definiciones relevantes para el desarrollo de la práctica profesional que permiten argumentar teóricamente los diseños solución propuestos.

1. Distribución en planta

La distribución en planta es la disposición física de máquinas, puestos de trabajo, áreas de almacenamiento, pasillos y servicios dentro de una instalación productiva, con el fin de facilitar el flujo de materiales, reducir desplazamientos, aprovechar el espacio y mejorar la eficiencia operativa; en este sentido, la planeación del layout es una decisión clave porque influye directamente en los costos, la productividad y el desempeño del sistema productivo (Slack et al., 2016).

2. Systematic Layout Planning (SLP)

El Systematic Layout Planning (SLP), desarrollado por Richard Muther, es una metodología para diseñar o rediseñar instalaciones de forma ordenada a partir del análisis de productos, cantidades, rutas, relaciones entre actividades y requerimientos de espacio; su propósito es construir alternativas de layout más funcionales y coherentes con el flujo real de la operación (Muther, 2015).

3. SketchUp

SketchUp es una herramienta de modelado tridimensional que permite representar y visualizar propuestas espaciales, facilitando la validación de dimensiones, pasillos, áreas de trabajo e interferencias antes de la ejecución física; por ello, su uso resulta valioso como apoyo para comunicar y comparar alternativas de redistribución en proyectos de diseño de planta (Trimble, 2025).

4. Análisis de flujo de materiales

El análisis de flujo de materiales estudia el recorrido de insumos, componentes y productos dentro de una instalación para identificar trayectorias largas, retrocesos, cruces, congestión y movimientos innecesarios; además, constituye una base técnica para justificar la cercanía entre áreas y mejorar la continuidad del proceso, tal como lo plantea Muther (2015) y lo ratifican estudios recientes sobre mejora de flujos en entornos industriales (Dulina et al., 2024).

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

5. Productividad

La productividad se entiende como la relación entre los resultados obtenidos y los recursos utilizados, y en un área de ensamble depende no solo del operario o de la capacidad de los equipos, sino también de la organización física del espacio; un layout adecuado reduce tiempos de búsqueda y desplazamiento, mejora el acceso a materiales y favorece un mejor desempeño global del proceso (Slack et al., 2016; Suhardi et al., 2021).

6. Manejo de materiales

El manejo de materiales comprende las actividades de movimiento, almacenamiento, protección y control de materiales dentro de la planta, y su adecuada integración con el layout permite disminuir recorridos, costos internos y tiempos improductivos, apoyando así la eficiencia operativa de la instalación (Slack et al., 2016; Suhardi et al., 2021).

7. Metodología 5S

La metodología 5S es una herramienta de organización del lugar de trabajo orientada a clasificar, ordenar, limpiar, estandarizar y sostener la disciplina, con el propósito de mejorar el orden, la seguridad y la eficiencia del entorno productivo; por ello, suele emplearse como complemento en proyectos de mejora de planta y organización industrial (Gupta & Jain, 2015).

8. Distribución por procesos

Es un tipo de layout en el que los recursos o áreas de trabajo se agrupan según la función que realizan, de modo que procesos similares se ubican juntos para atender distintos productos o rutas de operación; este tipo de distribución suele emplearse cuando existe variedad en los productos o en la secuencia de trabajo, aunque puede generar recorridos más largos y flujos menos continuos que otros tipos de layout (Ramírez Drada et al., 2019).



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el área de ensamble de Fuel Control Solutions S. A. S. se evidencian deficiencias asociadas a la distribución física del espacio, la organización de materiales y herramientas, y la delimitación de las zonas funcionales del taller. A partir del diagnóstico realizado con apoyo de las fotografías del área y del esquema 2D, se identificó que la disposición actual no responde a una lógica de flujo continuo entre ingreso, almacenamiento, ensamble y despacho. Por el contrario, se observan recorridos innecesarios, cruces entre el tránsito de personas y el movimiento de materiales, obstrucción parcial de pasillos, dispersión del inventario y herramientas, y ausencia de demarcación clara para rutas, áreas de trabajo, almacenamiento y seguridad. Estas condiciones son consistentes con lo que la literatura reconoce como problemas de layout que afectan el funcionamiento integral de una instalación productiva. Este tipo de situaciones genera efectos negativos sobre el desempeño operativo del taller: En primer lugar, incrementa los tiempos de búsqueda y desplazamiento, debido a que los materiales y herramientas no se encuentran clasificados ni ubicados de manera estandarizada; en segundo lugar, dificulta el control visual del proceso, ya que no existe una separación clara entre zonas de trabajo, circulación, inventario y despacho; tercer lugar, aumenta el riesgo operativo, pues la presencia de objetos en áreas de paso y la mezcla de actividades dentro del mismo espacio favorecen condiciones inseguras para el personal; finalmente, estas deficiencias repercuten directamente en la productividad del área, al generar tiempos improductivos, interrupciones en el flujo y menor aprovechamiento del espacio disponible. Dulina et al. (2024), menciona que, mediante el análisis y rediseño del flujo de materiales en una empresa manufacturera, lograron reducir la distancia de transporte de 88,5 a 73,5 metros, equivalente a una disminución del 16,95 %. Asimismo, el tiempo de producción disminuyó un 0,54 % y el costo de transporte aproximadamente un 1,09 %, lo que evidencia que la reorganización del layout puede contribuir a reducir recorridos y costos internos.

En este contexto, la situación observada en Fuel Control Solutions S. A. S. no corresponde únicamente a un problema de orden físico, sino a una condición que afecta variables críticas del proceso, como el flujo de materiales, tiempo de operaciones, preparación y envío de materiales y producto terminado, indicadores de seguridad en planta, el uso eficiente del espacio y el rendimiento operativo del área de ensamble, entre otras. Todo lo anteriormente descrito desencadena en consecuencias de flujo para el diseño físico de planta, en donde se evidencia rutas y áreas sin demarcación, ausencia de criterios de ubicación para inventario y falta de control de herramientas y equipos. Por ello, una intervención sobre el layout y la organización del área puede generar mejoras visibles en tiempos de ciclo, accesibilidad, control operativo y condiciones de seguridad. Desde el punto de vista técnico, la propuesta es pertinente porque aborda el problema desde herramientas reconocidas en la ingeniería industrial.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Pregunta problematizadora

¿Cómo puede el rediseño de la distribución física del área de ensamble de Fuel Control Solutions S. A. S., mediante la metodología Systematic Layout Planning, contribuir a mejorar el flujo de materiales, reducir recorridos innecesarios, fortalecer la seguridad y aumentar la eficiencia operativa del proceso?

JUSTIFICACIÓN

Una de las funciones clave del área de ensamble dentro de la operación de Fuel Control Solutions S. A. S. se justifica en apoyar actividades de preparación, alistamiento, ensamble y despacho de equipos y componentes. Como consecuencia, cualquier deficiencia en su distribución física repercute directamente en la eficiencia del proceso, en el uso de los recursos y en la seguridad del entorno de trabajo. Por ello, es desarrollado a partir del presente proyecto la metodología Systematic Layout Planning (SLP), la cual permite rediseñar la distribución en planta, considerando relaciones entre áreas, secuencia de actividades, requerimientos de cercanía y flujo de materiales. A su vez, el análisis de flujo de materiales proporciona una base objetiva para identificar trayectorias críticas, cruces y retrocesos, mientras que el uso de SketchUp facilita la representación y validación visual a través de planimetría 3D de la propuesta antes de su implementación. Esto hace posible desarrollar una solución estructurada, sustentada y ajustada a las necesidades reales del taller. Además, la propuesta tiene relevancia *organizacional* porque puede contribuir a fortalecer la productividad y el control del proceso sin requerir inversiones elevadas en infraestructura. Al tratarse de una mejora basada en redistribución, demarcación, estandarización y organización de inventarios y herramientas, su costo relativo es menor frente a los beneficios esperados en eficiencia, orden, seguridad y continuidad operativa.

Diversos estudios demuestran que el rediseño del layout puede traducirse en mejoras operativas concretas. Suhardi, Juwita y Astuti (2021), en un caso de redistribución de planta mediante la metodología SLP, reportaron una reducción del 68,3 % en el costo total del movimiento de materiales y del 59,6 % en la distancia de transporte respecto al layout inicial, evidenciando que una reorganización basada en flujo y cercanía funcional puede mejorar significativamente la eficiencia interna. Estos resultados respaldan la pertinencia de aplicar una metodología de redistribución en un entorno como el de Fuel Control Solutions, donde el diagnóstico mostró recorridos innecesarios, mezcla de áreas y dispersión de recursos. En la misma línea, Arancibia Temoche y Lucano Cachay (2024) analizaron una empresa manufacturera con problemas de baja productividad asociados, entre otras causas, a un layout inadecuado y al desorden en materiales. Su propuesta de mejora, basada en rediseño de layout e implementación de 5S, logró reducir las actividades improductivas de 70,69 % a 48,5 %, elevar el cumplimiento de 5S de 42 % a 76 % y mostrar viabilidad económica mediante un VAN (Valor Actual Neto) positivo, una TIR (Tasa Interna de Retorno) del 44 % y una relación beneficio-coste de 2,36. Este antecedente es especialmente útil para el presente proyecto porque demuestra que la redistribución física, cuando se complementa con organización visual y estandarización básica, puede generar beneficios operativos y económicos medibles; en la investigación de Romero-Parra, Tataje-Sanchez y Meza-Ortiz (2024) se realiza un análisis de caso de estudio en una pyme textil peruana a través de la aplicación de 5S y trabajo estandarizado, el cual incrementó la

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

productividad laboral de 8,05 a 8,45 blazers/hombre-hora, mejoró la eficiencia temporal hasta en 96 % y redujo en 62,95 % las demoras asociadas a transportes y movimientos innecesarios. Aunque el estudio no se centra exclusivamente en layout, sus hallazgos son relevantes para este trabajo porque muestran que el orden del puesto de trabajo, la organización de materiales y la reducción de movimientos improductivos tienen una relación directa con el desempeño operativo, aspecto central en el rediseño del área de ensamble propuesta para Fuel Control Solutions. De igual forma, Dulina et al. (2024) demuestran que la mejora del flujo de materiales dentro de empresas industriales permite minimizar el tránsito entre puestos de trabajo, reducir cuellos de botella y racionalizar las operaciones internas; por tanto, cuando el diseño físico no favorece la continuidad del flujo, se incrementan las distancias recorridas, la congestión operativa y la pérdida de eficiencia. Este hallazgo resulta especialmente pertinente para el caso analizado, donde el diagnóstico mostró dispersión de materiales, trayectorias innecesarias y falta de conexión lógica entre las zonas funcionales del taller. A ello se suma la dimensión de seguridad. Moatari-Kazerouni, Chinniah y Agard (2015) proponen integrar los factores de seguridad y salud en el trabajo desde la planeación del layout, debido a que una distribución mal concebida puede elevar riesgos, pérdidas de tiempo, costos de transporte interno y condiciones inseguras antes incluso de la puesta en marcha o durante la operación cotidiana. En consecuencia, la falta de un diseño físico estructurado no solo afecta la productividad, sino también la seguridad del personal y la estabilidad operacional del sistema.

En síntesis, este proyecto se justifica porque busca transformar un área de ensamble con problemas de flujo, organización y aprovechamiento del espacio en un entorno de trabajo más funcional, seguro y eficiente. La propuesta no se limita a reubicar elementos físicos, sino que pretende estructurar técnicamente una redistribución del área apoyada en criterios de flujo de materiales, cercanía funcional, orden visual y uso racional del espacio, de manera coherente con la evidencia reciente reportada en la literatura académica.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Diseñar una propuesta de distribución física para el área de ensamble de Fuel Control Solutions S. A. S., mediante la metodología Systematic Layout Planning (SLP), con el fin de mejorar el flujo de materiales, optimizar el uso del espacio, fortalecer la seguridad y aumentar la eficiencia operativa del proceso.

Objetivos específicos.

- Diagnosticar las condiciones actuales del área de ensamble, identificando problemas asociados a la distribución física, circulación, almacenamiento, organización de materiales y delimitación de zonas funcionales.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

- Aplicar la metodología Systematic Layout Planning (SLP) en la estructuración de una propuesta de diseño físico de planta, acorde con las relaciones entre actividades, los requerimientos de espacio y la cercanía funcional de las áreas.
- Determinar la propuesta de distribución óptima mediante el uso de SLP y SketchUp, de manera que permita mejorar la organización espacial, reducir recorridos, tiempos improductivos y fortalecer la eficiencia operativa y la productividad del proceso.

MÉTODO

Tipo y Nivel de Investigación

Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) describen un estudio orientado al diseño de una solución práctica como una investigación aplicada, de nivel descriptivo, cuando busca diagnosticar una situación real y formular una alternativa de mejora viable. Bajo esa lógica, el presente trabajo se clasifica como aplicado, ya que pretende resolver un problema concreto del área de ensamble de Fuel Control Solutions S. A. S., relacionado con la distribución física, el flujo de materiales, la organización del espacio y la delimitación de zonas funcionales. Asimismo, se considera de nivel explicativo, debido a que, en una primera fase, identifica y caracteriza las condiciones actuales del área mediante observación, registro visual y análisis del layout existente; posteriormente, analiza las causas y efectos asociados a las deficiencias detectadas en el flujo, la circulación y el aprovechamiento del espacio; y finalmente, diseña e implementa una propuesta de redistribución sustentada en criterios técnicos de distribución en planta. En cuanto al enfoque, la investigación es mixta, ya que combina elementos cualitativos y cuantitativos para analizar integralmente el problema. Desde lo cualitativo, se estudian la organización física del área, la relación entre zonas y las condiciones de circulación; desde lo cuantitativo, se evalúan variables como distancias recorridas, requerimientos de espacio y relaciones de cercanía mediante la metodología SLP. Por ello, este estudio se aborda como un estudio de caso, al centrarse en una situación específica dentro de Fuel Control Solutions S. A. S.

Diseño de la Investigación

Según Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), el diseño de investigación se define como la estrategia empleada para recopilar información y obtener los resultados deseados mediante experimentos realizados en la muestra de estudio. Este diseño implica la manipulación deliberada de variables con el propósito de analizar sus posibles efectos; a seguir se relaciona la matriz de desarrollo metodológico del plan de trabajo, junto con las actividades y objetivos necesarios para su implementación (Tabla 0)

Tabla 0. Matriz desarrollo metodológico de plan de trabajo

Objetivo general	Objetivos específicos	Trabajo de campo (plan de acción)
Diseñar una propuesta de redistribución física para el área	Diagnosticar las condiciones actuales del área de ensamble,	1. Presentación de la empresa y caracterización operacional de

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Objetivo general	Objetivos específicos	Trabajo de campo (plan de acción)
de ensamble de Fuel Control Solutions S. A. S., mediante la metodología Systematic Layout Planning (SLP), con el fin de mejorar el flujo de materiales, optimizar el uso del espacio, fortalecer la seguridad y aumentar la eficiencia operativa del proceso.	Identificando problemas asociados a la distribución física, circulación, almacenamiento, organización de materiales y delimitación de zonas funcionales.	caso de estudio FCS (diagrama de flujo)
		2. Análisis de distancias y tiempos a través de cursograma analítico
		3. Identificación de mudas (desperdicios) asociados al proceso industrial FCS (diagrama de Ishikawa)
		4. Elaboración de diseño físico de planta actual en software Sketchup
	Aplicar la metodología Systematic Layout Planning (SLP) para estructurar una propuesta de redistribución acorde con las relaciones entre actividades, los requerimientos de espacio y la cercanía funcional de las áreas.	5. Desarrollo de la metodología de 6 pasos de Richard Muther (Systematic Layout Planning)
		6. Determinación de las restricciones físicas de planta para el caso de estudio actual
		7. Presentación de propuesta de mejora 1: Diseño físico de planta con enfoque en SLP y análisis de recorrido en diagrama adimensional de bloques
		8. Presentación de propuesta de mejora 2: Diseño físico de planta con enfoque en SLP y análisis de recorrido en diagrama adimensional de bloques
	Determinar la propuesta de distribución óptima mediante el uso de SLP y SketchUp, de manera que permita optimizar la organización espacial, reducir recorridos, tiempos improductivos y fortalecer la eficiencia operativa y la productividad del proceso.	9. Análisis de costos, tiempos y distancias; en propuesta de mejora 1
		10. Análisis de costos, tiempos y distancias; en propuesta de mejora 2
		11. Determinación de la propuesta óptima a implementar en el caso de estudio con el software SketchUp

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Objetivo general	Objetivos específicos	Trabajo de campo (plan de acción)
		12. Determinación de propuesta de mejora espacial: Análisis de Guerchet

Diseño de la muestra de investigación

A continuación, se relaciona el escenario mediante el cual se desarrollará el estudio, así como la unidad de análisis, condiciones de trabajo, métodos de recolección de información y tipología del análisis de datos.

Título del proyecto:

Diseño de una propuesta de redistribución física del área de ensamble de Fuel Control Solutions S. A. S. mediante la metodología Systematic Layout Planning (SLP).

1. Escenario de la investigación

1.1 Ubicación: Fuel Control Solutions S. A. S., específicamente en el área de ensamble del taller.

1.2 Duración del estudio: Según el cronograma académico definido para el desarrollo del proyecto.

2. Unidad de análisis

2.1 Unidad principal: Área de ensamble de Fuel Control Solutions S. A. S.

2.2 Elementos de análisis: Estaciones de trabajo, zonas de almacenamiento, herramientas, materiales, pasillos, rutas de circulación y áreas de apoyo.

2.3 Criterios de inclusión: Se consideran todos los elementos físicos y funcionales que intervienen directamente en el proceso de ensamble.

2.4 Criterios de exclusión: No se incluyen áreas externas al proceso de ensamble que no tengan relación directa con el flujo del taller.

3. Muestra o fuente de información

Dado que se trata de un estudio de caso aplicado al área de ensamble, no se emplea una muestra probabilística. La investigación se desarrolla sobre la totalidad del espacio objeto de estudio, tomando como fuente principal el diagnóstico del área actual, el esquema 2D disponible, el registro fotográfico y la observación de la disposición física existente.

4. Condiciones de trabajo

4.1 Entorno de análisis: Espacio físico real del taller de ensamble, incluyendo áreas de trabajo, circulación, almacenamiento y apoyo operativo.

4.2 Frecuencia de revisión: Se realizará conforme a las etapas del proyecto, mediante sesiones de observación, análisis del layout y construcción de la propuesta de redistribución.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

5. Procedimiento de recolección de información

5.1 Diagnóstico del estado actual: Observación directa del área, revisión del esquema 2D y análisis del registro fotográfico para identificar condiciones actuales del layout.

5.2 Identificación de problemas: Registro de recorridos innecesarios, cruces, obstrucción de pasillos, dispersión de herramientas y materiales, mezcla de zonas funcionales y ausencia de delimitación.

5.3 Análisis del flujo de materiales: Estudio de las trayectorias seguidas por materiales, herramientas y personal dentro del área de ensamble, con el fin de detectar interrupciones, retrocesos y oportunidades de mejora.

5.4 Aplicación del SLP: Evaluación de relaciones entre actividades, necesidades de proximidad y requerimientos de espacio para estructurar la propuesta de redistribución física en 3D.

5.5 Modelado y validación de la propuesta: Representación del layout actual y del layout propuesto mediante SketchUp para validar espacialmente la alternativa seleccionada.

Componente ético

El desarrollo de esta investigación se fundamenta en principios de responsabilidad académica, respeto por la información suministrada por la empresa y uso ético de los datos recolectados durante el diagnóstico del área de ensamble. Dado que el estudio se centra en el análisis de una instalación productiva y en la formulación de una propuesta técnica de redistribución, se garantizará la confidencialidad de la información interna que pueda comprometer procesos, organización física o decisiones operativas de la empresa.

Asimismo, la investigación mantendrá criterios de objetividad en la observación, análisis e interpretación de los hallazgos, evitando sesgos en la formulación de la propuesta. De igual forma, se respetará la autoría de las fuentes bibliográficas y documentales utilizadas para sustentar conceptualmente el proyecto, conforme a las normas de citación académica aplicables.

La investigación también considera el impacto del rediseño sobre las condiciones de trabajo y seguridad del personal, por lo que la propuesta será formulada bajo criterios de mejora del flujo, aprovechamiento del espacio, organización visual y reducción de riesgos operativos. En este sentido, el componente ético no se limita al manejo de la información, sino que también involucra la intención de contribuir a un entorno de trabajo más seguro, ordenado y funcional.

Marco legal de referencia

- Resolución 8430 de 1993 - relacionada con normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación. (Ministerio de Salud, 1993).
- Ley 842 de 2003 - correspondiente al código de ética y régimen disciplinario de la ingeniería en Colombia. (Congreso de Colombia, 2003).
- Ley 1581 de 2012 y Decreto 1377 de 2013 - sobre protección de datos personales. (Congreso de Colombia, 2012; Presidencia de la República de Colombia, 2013).
- Norma ISO 6707 - Sección pasillos, áreas comunes.
- Resolución 2400 de 1979 - Esta norma es la más directa para justificar condiciones de espacio, pasillos, orden, limpieza, almacenamiento y circulación en lugares de trabajo. (Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, 1979).

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

Comentado [ACI]: Buscar leyes o reglamentos en donde se especifique el uso de espacios físicos a nivel Colombia (otras 3)

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

f) Resolución 0312 de 2019 - Estándares Mínimos del SG-SST. (Ministerio del Trabajo, 2019).

RESULTADOS

1. Presentación de la empresa y caracterización Operacional de caso de estudio FCS (diagrama de flujo)

1.1 Descripción de la empresa

Fuel Control Solutions se presenta públicamente como una empresa orientada a la optimización operativa mediante tecnología para estaciones de servicio, parqueaderos y tiendas de conveniencia. En su sitio oficial afirma tener más de diez años de experiencia y enfoca su propuesta de valor en mejorar procesos, evitar pérdidas y dar mayor control del negocio por medio de herramientas de gestión, automatización y análisis.

1.2 Productos y servicios que ofrece

El portafolio público de FCS se agrupa en cuatro líneas: **estaciones de servicio, parqueaderos, autolavado y tiendas**. La empresa destaca capacidades de optimización de procesos comerciales, control de inventarios en tiempo real, reducción de pérdidas operativas, cuadro de caja automatizado, facturación electrónica integrada, reportes avanzados y gestión de cartera. Para estaciones de servicio menciona automatización Full Service y Auto Service, módulos de autogestión e integración con Veeder Root; para parqueaderos, control de acceso inteligente con aplicaciones móviles y web

1.3 Misión

Desarrollamos y comercializamos productos y servicios especializados que elevan los estándares de desempeño de las estaciones de servicio de combustible. Lo logramos gracias a la experiencia de nuestro talento humano y a la solidez administrativa y financiera de nuestra organización. (Fuel Control Solutions S. A. S., 2025)

1.4 Visión

Para el año 2030, seremos la empresa líder en la implementación de soluciones tecnológicas que impulsen la operación y administración de todas las unidades de negocio relacionadas con estaciones de servicio. (Fuel Control Solutions S. A. S., 2025)

1.5 Caracterización Operacional de FCS

La caracterización operacional del caso de estudio FCS será centrada en el proceso de ensamble de torres de aire documentado en el instructivo interno INS-TA-001 del área de Producción / Taller. El proceso tiene como propósito orientar de manera clara y secuencial el ensamble para mantener control sobre la ejecución y disminuir retrabajos. Su alcance comprende tres etapas: mecánica, eléctrica y neumática, iniciando con la preparación del área de trabajo y la verificación de insumos, y finalizando con la validación integral del sistema y la liberación del equipo. La secuencia estándar incluye quince actividades consecutivas, cada una con punto de control antes de avanzar a la siguiente, lo que evidencia un flujo lineal y estandarizado de transformación del producto. En

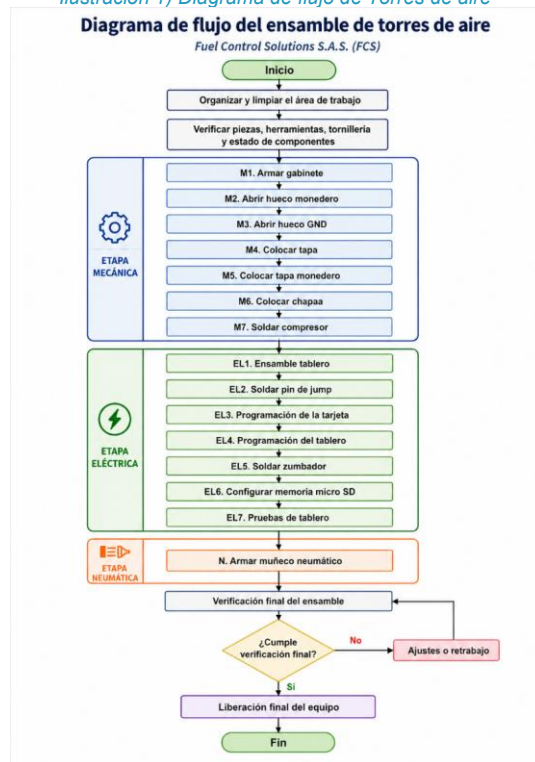
“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

términos operacionales, se trata de un proceso de ensamble discreto con entradas físicas definidas, responsables asignados y salida final en una torre de aire ensamblada, programada y probada.

Comentado [GA2]: Corregir y dejar este texto en la página anterior

Ilustración 1) Diagrama de flujo de Torres de aire



“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

PROCESO	DESCRIPCIÓN
Organización del área de trabajo	En esta etapa inicial se prepara el puesto de trabajo antes de comenzar el ensamble de la torre de aire. Se realiza la limpieza del área, se organizan las herramientas, se verifica la disponibilidad de tornillería, piezas, componentes eléctricos, neumáticos y elementos mecánicos necesarios. Esta actividad es importante para evitar pérdidas de tiempo, desplazamientos innecesarios y errores durante el proceso de armado.
Verificación de materiales y componentes	Se revisa que el gabinete, compresor, tablero, tapas, chapas, monedero, componentes eléctricos, memoria micro SD, zumbador y elementos neumáticos se encuentren disponibles y en buen estado. También se confirma que las herramientas requeridas para corte, soldadura, ensamble, programación y prueba estén listas para su uso. Esta verificación permite iniciar el proceso con mayor control y reducir el riesgo de interrupciones o retrabajos.
M1. armar gabinete	En esta etapa se ensambla la estructura principal de la torre de aire. El gabinete constituye la base física del equipo, por lo que debe quedar firme, alineado y en condiciones adecuadas para recibir los demás componentes. Esta actividad marca el inicio de la etapa mecánica del proceso.
M2. abrir hueco monedero	Se realiza la adecuación o perforación del espacio donde será instalado el monedero. Esta actividad requiere precisión para garantizar que la abertura tenga el tamaño correcto, permita el montaje adecuado del componente y no genere interferencias durante la instalación.
M3. abrir hueco GND	Se efectúa la abertura correspondiente al punto de conexión GND en el gabinete. Esta operación permite preparar el equipo para la posterior conexión eléctrica o puesta a tierra, asegurando que el punto quede ubicado correctamente y facilite el montaje de los componentes asociados.
M4. colocar tapa	Se instala la tapa principal del gabinete, verificando su ajuste, alineación y correcto funcionamiento. La tapa debe permitir apertura y cierre adecuados, sin generar rozamientos o dificultades durante el uso del equipo.
M5. colocar tapa monedero	Se instala la tapa correspondiente al monedero. Durante esta actividad se revisa que la tapa quede correctamente alineada, fija y sin interferencias con el componente instalado. Esta operación contribuye a la protección y presentación final del equipo.
M6. colocar chapas	Se montan las chapas o sistemas de cierre del gabinete. Esta etapa permite asegurar el equipo y controlar el acceso a sus componentes internos. Se debe validar que las chapas funcionen correctamente, queden firmes y permitan cerrar el gabinete de forma segura.
M7. soldar compresor	Se ubica, fija y asegura el compresor dentro de la estructura de la torre de aire. Esta actividad hace parte del cierre de la etapa mecánica y requiere verificar que el compresor quede estable, bien soportado y correctamente instalado para evitar vibraciones, fallas o desplazamientos durante la operación del equipo.
EL1. ensamble tablero	Inicia la etapa eléctrica del proceso. En esta actividad se arma el tablero eléctrico, se organizan sus componentes y se preparan las conexiones necesarias para el funcionamiento de la torre. El tablero debe quedar ordenado, limpio y dispuesto para facilitar las soldaduras, programación y pruebas posteriores.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

PROCESO	DESCRIPCIÓN
EL2. soldar pin de jump	Se realiza la soldadura del pin de jump en el tablero o tarjeta correspondiente. Esta operación requiere cuidado para garantizar una unión limpia, firme y sin exceso de material. Una soldadura deficiente puede generar fallas eléctricas o retrabajos durante la prueba del equipo.
EL3. programación de la tarjeta	Se carga el programa correspondiente a la tarjeta electrónica. Durante esta etapa se verifica que la programación se realice sin errores y que la tarjeta quede preparada para controlar las funciones requeridas por la torre de aire.
EL4. programación del tablero	Se configuran los parámetros de funcionamiento del tablero de acuerdo con las condiciones técnicas del equipo. Esta etapa permite ajustar el sistema para que responda correctamente durante la operación de la torre de aire.
EL5. soldar zumbador	Se instala y suelda el zumbador en el punto correspondiente del sistema eléctrico. Se debe revisar la polaridad, firmeza y calidad de la soldadura, ya que este componente puede estar asociado a señales sonoras o alertas del funcionamiento del equipo.
EL6. configurar memoria micro SD	Se prepara, configura e instala la memoria micro SD según los requerimientos del equipo. En esta actividad se verifica que la memoria quede correctamente configurada, instalada y reconocida por el sistema.
EL7. pruebas de tablero	Se realizan pruebas funcionales del tablero antes de avanzar a la etapa neumática. Se verifica el encendido, la respuesta de los componentes, la programación y el funcionamiento general del sistema eléctrico. Esta etapa actúa como un punto de control para detectar fallas antes del ensamble final.
N. armar muñeco neumático	En esta etapa se ensambla el conjunto neumático de la torre de aire. Se realizan las conexiones necesarias y se verifica que el sistema quede correctamente instalado. Esta actividad integra el componente neumático con el sistema mecánico y eléctrico previamente ensamblado.
Verificación final del ensamble	Se realiza una revisión general del equipo terminado. Se verifica que el gabinete esté armado, el compresor fijado, el tablero ensamblado y probado, la memoria instalada cuando aplique y el sistema neumático correctamente conectado. Esta etapa permite confirmar que la torre de aire cumple con las condiciones mínimas para ser liberada.
Ajustes o retrabajo	Si durante la verificación final se identifica alguna falla, inconsistencia o componente mal instalado, el equipo debe regresar a la etapa correspondiente para realizar ajustes o retrabajos. Estos pueden estar asociados a errores de montaje, fallas eléctricas, problemas de programación, conexiones neumáticas deficientes o componentes mal ajustados.

Tabla 1) Caracterización de los procesos operacional de Torres de aire

“Este documento es propiedad intelectual del POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

2. Análisis de distancias y tiempos a través de cursograma analítico

2.1 Descripción

El cursograma analítico es una herramienta de ingeniería industrial utilizada para analizar detalladamente un proceso, clasificando cada actividad como operación, inspección, transporte, espera o almacenamiento. Se usa para estudiar procesos productivos, de ensamble, almacenamiento o servicios, permitiendo identificar tiempos, distancias recorridas, responsables y actividades que no agregan valor. Sus principales beneficios son la reducción de tiempos muertos, disminución de desplazamientos innecesarios, mejora del flujo de materiales y detección de desperdicios dentro del proceso. (Freivalds & Niebel, 2009)

En este proyecto, el cursograma analítico es importante porque permite estudiar el ensamble de las torres de aire de Fuel Control Solutions S.A.S. de manera ordenada y medible. A través de esta herramienta se pueden identificar recorridos innecesarios, esperas, búsquedas de herramientas, cruces entre operarios y problemas asociados a la distribución actual del área. Por esto, sirve como soporte para justificar la propuesta de rediseño del layout mediante SLP, ya que aporta información sobre tiempos, flujo y recorridos necesarios para mejorar la productividad, la seguridad y la organización del espacio. A seguir se muestran los resultados de tiempos y distancia de la herramienta.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

CURSOGRAMA ANALÍTICO

CURSOGRAMA ANALÍTICO										
DIAGRAMA DE PROCESO DE FLUJO										
DETALLES DEL PROCESO				HOMBRE: ☐	Método: Actual					
ACTUAL: ☒ PROPUESTO: ☐				MATERIAL: ☒	Proceso: Ensamble de torre de aire					
				Actividades: 25						
N°	DETALLES DEL PROCESO	TIEMPO (min.)	DISTANCIA (m.)	OPERACIÓN ON	TRANSPORTE ORTE	INSPECCIÓN ION	ESPERA D	ALMACENAJE NAJE	OBSERVACIONES	RESUMEN
1	Organización del área de trabajo	6	0	•	→				Se limpia y organiza el puesto antes de iniciar el ensamble.	Operación 16
2	Verificación de materiales y componentes.	10	0			•			Se revisa disponibilidad de gabinete, compresor, tablero, tapas, chapas y componentes.	Inspección 3
3	Traslado de materiales al puesto mecánico	3	2,3		•				Se llevan los materiales principales al área de ensamble mecánico.	Transporte 5
4	M1. Armar gabinete	30	0	25			5		Se ensambla la estructura principal de la torre de aire.	Espera 9
5	M2. Abrir hueco monedero	5	0	•					Se adecua la abertura donde se instalará el monedero.	Almacenaje 1
6	M3. Abrir hueco GND	5	0	•					Se realiza la abertura correspondiente al punto GND.	
7	M4. Colocar tapa	10	0	•					Se instala la tapa principal del gabinete.	
8	M5. Colocar tapa monedero	10	0	7			3		Se instala y ajusta la tapa del monedero.	
9	M6. Colocar chapas	20	0	•					Se instalan las chapas o sistemas de cierre del gabinete.	
10	M7. Soldar compresor	20	0	•					Se ubica, fija y asegura el compresor en la torre.	
11	Inspección etapa mecánica	10	0,4			•			Se verifica gabinete, tapas, chapas y compresor.	
12	Traslado a estación eléctrica	5	1		•				Se traslada el equipo o componentes hacia el área eléctrica.	
13	EL1. Ensamble tablero	18	0	15			3		Se arma el tablero eléctrico y se organizan sus componentes.	
14	EL2. Soldar pin de jump	15	0	•					Se realiza la soldadura del pin de jump.	
15	EL3. Programación de la tarjeta	20	0	14			6		Se carga el programa correspondiente a la tarjeta electrónica.	
16	EL4. Programación del tablero	20	0	•					Se configuran los parámetros de funcionamiento del tablero.	
17	EL5. Soldar zumbador	10	0	•					Se instala y suelta el zumbador.	
18	EL6. Configurar memoria micro SD	14	0	12			2		Se prepara, configura e instala la memoria micro SD.	
19	EL7. Pruebas de tablero	30	0			•			Se realizan pruebas funcionales del tablero eléctrico.	
20	Traslado a estación neumática	6	4		3		3		Se moviliza el equipo hacia el área de ensamble neumático.	
21	N. Armar muñeco neumático	60	0	50			10		Se ensambla el conjunto neumático y se realizan conexiones.	
22	Verificación final del ensamble	15	2,5			•			Se revisa el funcionamiento general del equipo terminado.	
23	Ajustes o retrabajo, si aplica	15	0	10			5		Se corrigen fallas encontradas durante la verificación final.	
24	Liberación final del equipo	5	0			4	1		Se autoriza el equipo para almacenamiento, entrega o despacho.	
25	Producto terminado	8	5					•	La torre queda ubicada en zona de producto terminado.	
DISTANCIA (m)			15,2							
TIEMPO DEFINIDO (min)		370		16	3	5	9	1		

Ilustración 2) Cursograma Analítico Torre de Aire

El cursograma analítico del proceso de ensamble de torres de aire permite identificar la secuencia de actividades necesarias para transformar los componentes iniciales en un equipo terminado y listo para

“Este documento es propiedad intelectual del POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

Comentado [GA3]: Seguir ejemplo

de la tarjeta	para conti
EL4. programación del tablero	Se config condición responde
EL5. soldar zumbador	Se instala Se debe componer del equipo
EL6. configurar memoria micro SD	Se prepara equipo. t configur
EL7. pruebas de tablero	Se realiza Se verific funcionan control pa
N. armar muñeco neumático	En esta e conexione Esta activ previamen
Verificación final del ensamble	Se realiza armado, e cuando a confirmar
Ajustes retrabajo	Si durante mal instal ajustes o eléctricas componer

Tabla 1 Can

Comentado [GA4R3]:

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

liberación. De acuerdo con la tabla actualizada, el proceso está compuesto por actividades de operación, inspección, transporte, espera y almacenamiento. El tiempo total definido es de 370 minutos, equivalente aproximadamente a 6,17 horas por torre de aire, sin incluir los tiempos pendientes correspondientes a ajustes o retrabajo y producto terminado. Este valor representa el tiempo base del proceso cuando no se presentan novedades, reprocesos o fallas durante la verificación final.

FOTOS DEL TALLER:



“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I



2.2 Análisis final

Se realiza un cursograma analítico del proceso de ensamble de torres de aire en Fuel Control Solutions S.A.S., con el propósito de identificar las actividades que componen el proceso, los tiempos asociados y los posibles desperdicios que afectan la eficiencia operativa del área de ensamble. El análisis contempla 16 operaciones, 5 inspecciones, 3 transportes, 1 espera y 1 almacenamiento, permitiendo observar cómo se desarrolla el flujo del producto desde la organización inicial del puesto de trabajo hasta la ubicación final de la torre como producto terminado.

Al analizar el proceso de ensamble de torres de aire se identifican las siguientes causas principales que pueden afectar el desempeño del proceso:

- **Tiempo elevado en el armado del muñeco neumático:** Esta es la actividad con mayor duración dentro del proceso, con un tiempo de 95 minutos. Representa aproximadamente el 25,7 % del tiempo total definido, por lo cual se considera el principal punto crítico del proceso. Cualquier falla en conexiones, ausencia de componentes, falta de herramientas o error de ensamble en esta etapa puede generar retrasos significativos y afectar directamente la capacidad de producción del área.
- **Alta concentración del tiempo en operaciones:** Las operaciones suman 293 minutos, equivalentes aproximadamente al 79,2 % del tiempo total definido. Esto indica que la mayor parte del proceso está orientada a actividades que transforman directamente el producto, como armar el gabinete, abrir huecos, instalar tapas, colocar chapas, soldar el compresor, ensamblar el tablero, programar componentes, soldar elementos eléctricos y armar el sistema neumático. Aunque esto es positivo, también muestra que cualquier mejora aplicada sobre las operaciones principales puede tener un impacto importante en la reducción del tiempo total.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

- **Necesidad de organización previa del área de trabajo:** El proceso inicia con la limpieza y organización del puesto de trabajo, actividad que tiene un tiempo de 10 minutos. Esto evidencia que el orden del área es una condición necesaria para iniciar el ensamble. Si las herramientas, tornillería, componentes eléctricos, piezas mecánicas o elementos neumáticos no están disponibles y ubicados correctamente, se pueden generar búsquedas innecesarias, interrupciones y pérdida de tiempo durante la ejecución.
- **Traslados entre estaciones de trabajo:** El cursograma registra tres transportes: traslado de materiales al puesto mecánico, traslado a la estación eléctrica y traslado a la estación neumática. Estos desplazamientos suman 7 minutos, equivalentes al 1,9 % del tiempo total definido. Aunque su participación en tiempo es baja, representan actividades que no agregan valor directo al producto. Por esta razón, deben analizarse junto con las distancias recorridas, ya que una mala distribución física puede generar cruces entre operarios, recorridos innecesarios y movimientos repetitivos.
- **Inspecciones necesarias para asegurar la calidad:** El proceso cuenta con cinco inspecciones: verificación de materiales y componentes, inspección de la etapa mecánica, pruebas de tablero, verificación final del ensamble y liberación final del equipo. Estas actividades suman 70 minutos, equivalentes aproximadamente al 18,9 % del tiempo total definido. Las inspecciones son necesarias para prevenir errores y garantizar que el equipo cumpla con los requisitos funcionales, pero deben ejecutarse con criterios claros para evitar duplicidad de revisiones o demoras innecesarias.
- **Riesgo de ajustes o retrabajos:** El cursograma incluye la actividad "Ajustes o retrabajo, si aplica", clasificada como operación y espera, con tiempo por definir. Esta actividad representa un riesgo importante porque solo aparece cuando el equipo no cumple con la verificación final. Aunque no se tiene un tiempo exacto, puede aumentar considerablemente la duración real del proceso, consumir recursos adicionales y retrasar la liberación del producto. Para reducir este impacto, se recomienda fortalecer los controles en cada etapa y no concentrar la detección de fallas únicamente al final.
- **Distribución secuencial del proceso:** El ensamble de torres de aire se desarrolla de manera lineal, iniciando con la organización y verificación de materiales, continuando con la etapa mecánica, luego la etapa eléctrica, posteriormente la etapa neumática y finalizando con la verificación, liberación y almacenamiento del equipo. Esta secuencia facilita el control del proceso, pero también implica que cualquier retraso en una actividad afecta las etapas siguientes. Por ello, el layout del área debe estar diseñado de acuerdo con el flujo real del proceso, evitando retrocesos, cruces y movimientos innecesarios.

En conclusión, el cursograma analítico evidencia que el proceso de ensamble de torres de aire cuenta con una estructura definida y mayoritariamente operativa, ya que el 79,2 % del tiempo corresponde a operaciones. Sin embargo, también muestra oportunidades de mejora relacionadas

"Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA".

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

con la reducción de transportes, prevención de retrabajos, organización del puesto de trabajo, estandarización de inspecciones y distribución adecuada de estaciones. El tiempo total definido del proceso es de 370 minutos, sin incluir ajustes/retrabajo ni almacenamiento final. Por lo tanto, este análisis sirve como base para justificar una propuesta de mejora del layout mediante la metodología SLP, orientada a optimizar el flujo de materiales, disminuir tiempos improductivos, mejorar la seguridad y aumentar la eficiencia operativa del área de ensamble.

3. Análisis de causas-problema a través de diagrama de Ishikawa e identificación de *Mudas*

3.1 Descripción

Según Ishikawa (1986), el diagrama de Ishikawa continúa siendo una de las herramientas más utilizadas en la gestión de operaciones y mejora continua para identificar de manera sistemática las causas raíz de los problemas que afectan el desempeño de los procesos productivos. Su aplicación permite clasificar y analizar los factores que generan ineficiencias, desperdicios y variaciones en los resultados, facilitando la toma de decisiones orientadas a la optimización de recursos, la reducción de costos y el incremento de la productividad.

De acuerdo con lo anterior, para el presente proyecto se emplea el análisis causa-efecto mediante el diagrama de Ishikawa con el fin de identificar las principales causas asociadas a los desperdicios presentes en el proceso de ensamble de torres de aire en Fuel Control Solutions S.A.S. Este análisis se enfoca en determinar los factores que generan recorridos innecesarios, tiempos improductivos, desorden en el área de trabajo, búsqueda de herramientas, posibles retrabajos y dificultades en el flujo de materiales dentro del taller. Para ello, se consideran categorías como método, mano de obra, materiales, maquinaria y herramientas, medio ambiente o distribución física, y medición y control.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I



Ilustración 3) Diagrama de Ishikawa

3.2 Análisis ISHIKAWA de mudas:

- La muda más representativa dentro del proceso es el movimiento innecesario, debido a que el ensamble requiere manipulación constante de herramientas, componentes mecánicos, eléctricos y neumáticos. Si estos elementos no están ubicados en el punto de uso, el operario debe interrumpir la actividad para buscar materiales o herramientas, generando pérdida de tiempo y afectando la continuidad del proceso.
- Otra muda importante es el transporte, evidenciada en los desplazamientos entre el puesto mecánico, la estación eléctrica y la estación neumática. Aunque el tiempo definido para estos traslados es bajo, su impacto puede ser mayor cuando se consideran las distancias reales,

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

los obstáculos en el área, la falta de demarcación o la ubicación inadecuada de las estaciones. Por esta razón, es necesario revisar el layout del taller y organizar las áreas de trabajo de acuerdo con la secuencia del proceso.

- La muda de defectos o retrabajos también representa un riesgo importante, ya que el cursograma incluye la actividad de ajustes o retrabajo con tiempo por definir. Esto significa que, si la torre de aire no cumple la verificación final, el proceso puede alargarse de manera considerable. Las causas pueden estar relacionadas con fallas en soldadura, errores de programación, conexiones neumáticas incorrectas, instalación deficiente de componentes o falta de verificación durante las etapas intermedias.
- Asimismo, se identifica la muda de espera, especialmente cuando el proceso depende de la disponibilidad de herramientas, equipos de prueba, componentes o aprobación en los puntos de control. Esta situación puede presentarse en actividades como programación de tarjeta, programación del tablero, pruebas de tablero, armado neumático o verificación final. Si no existe una planificación adecuada de recursos, el flujo del proceso puede verse interrumpido.
- Finalmente, el inventario desorganizado y el sobreproceso pueden afectar la eficiencia del ensamble. La falta de clasificación de materiales por etapa puede generar errores, pérdidas de tiempo y acumulación de elementos en el área de trabajo. Por otro lado, las inspecciones son necesarias para asegurar la calidad, pero si no se realizan mediante listas de verificación claras, pueden convertirse en revisiones repetidas que aumentan el tiempo del proceso.

El diagrama de Ishikawa permite identificar que los principales desperdicios del proceso de ensamble de torres de aire en FCS están asociados con el movimiento innecesario, transporte, espera, retrabajos, inventario desorganizado y sobreproceso. Estas mudas se relacionan directamente con la distribución física del área, la ubicación de herramientas y materiales, la secuencia lineal del proceso y la falta de medición detallada de tiempos improductivos.

Por lo tanto, se recomienda fortalecer la organización del puesto de trabajo, implementar herramientas 5S, clasificar materiales por etapa, ubicar herramientas en el punto de uso, estandarizar las inspecciones mediante listas de chequeo y rediseñar el layout siguiendo la secuencia lógica del proceso: preparación, etapa mecánica, etapa eléctrica, etapa neumática, verificación final y producto terminado. Estas acciones permitirán reducir desplazamientos, minimizar retrabajos, mejorar el flujo de materiales y aumentar la eficiencia operativa del área de ensamble.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

4. Elaboración de diseño físico de planta actual en software Sketchup

4.1 Descripción

SketchUp es una herramienta de modelado tridimensional asistido por computador que permite crear, visualizar y comunicar diseños de manera rápida, intuitiva y con precisión. Trimble la describe como un ecosistema de herramientas para crear, comunicar y colaborar en 3D, y destaca que su modelador web permite "preconstruir" proyectos en 3D antes de ejecutarlos físicamente. Además, la versión web funciona desde el navegador, facilita importar y exportar archivos, y permite apoyar el trabajo con almacenamiento en la nube y bibliotecas de modelos. (Trimble, 2025).

En este proyecto, SketchUp se utiliza como apoyo para el diseño físico del área de ensamble, debido a que permite representar gráficamente la distribución propuesta y evaluar de manera visual el aprovechamiento del espacio disponible. Su uso facilita la validación de la ubicación de estaciones de trabajo, áreas de almacenamiento, zonas de circulación y puntos de apoyo, permitiendo identificar posibles interferencias, recorridos innecesarios o limitaciones físicas antes de implementar cambios en planta. De esta manera, SketchUp complementa la metodología de distribución de planta, ya que convierte la propuesta técnica en un modelo tridimensional entendible, funcional y verificable, fortaleciendo la toma de decisiones en el rediseño del layout.

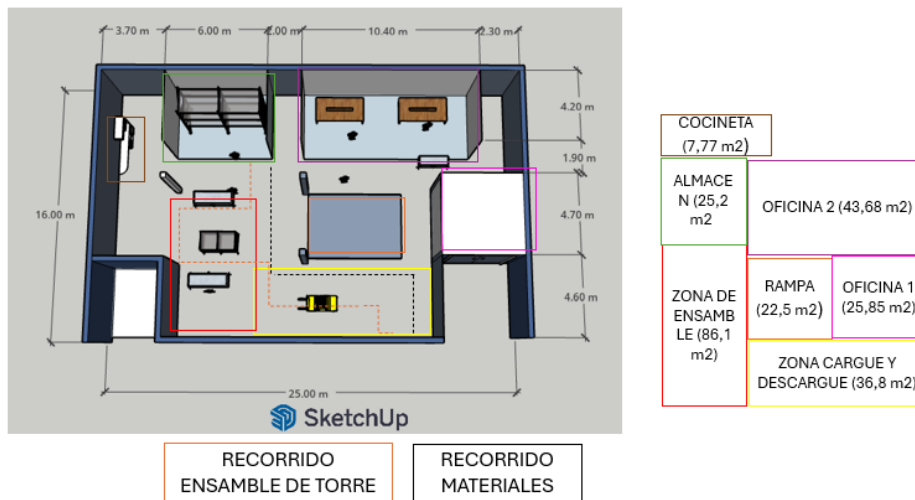


Ilustración 4) Diseño físico actual vista arriba

"Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA".

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

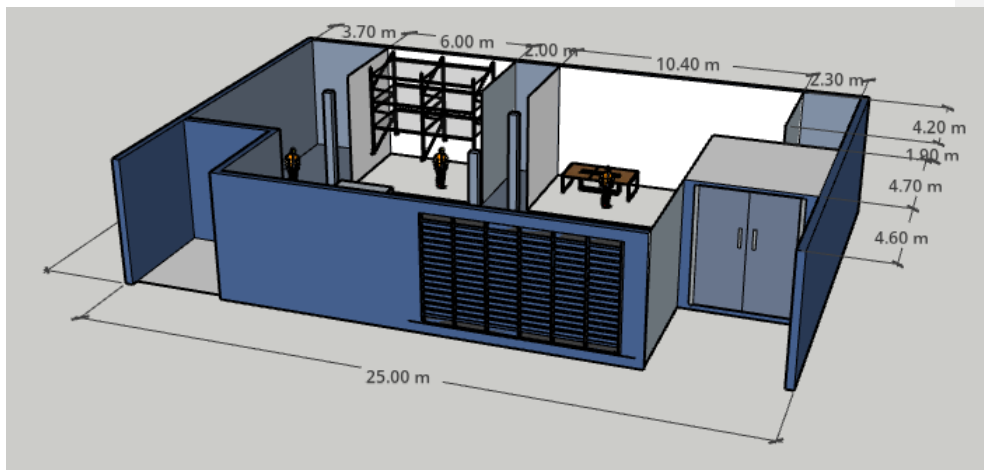


Ilustración 5) Diseño físico actual 3D (SketchUp)

4.2 CONCLUSIONES DEL DISEÑO ACTUAL:

El diseño físico de la planta impacta negativamente el área de ensamble porque favorece varias de las causas identificadas en el Ishikawa: búsqueda de materiales, lejanía de herramientas, traslados entre estaciones, cruces de flujo, acumulación, falta de secuencia y dificultad para medir desperdicios. En consecuencia, la distribución actual contribuye directamente a los tiempos improductivos, recorridos innecesarios y desperdicios del proceso de ensamble de torres de aire.

Desde esta lectura, la mejora del layout no debe verse solo como un cambio estético o espacial, sino como una acción correctiva sobre causas raíz del problema. Reorganizar el ensamble, acercar recursos al punto de uso y ordenar la secuencia del flujo permitiría atacar de forma simultánea varios de los factores del diagrama.

5. Desarrollo de la metodología de 6 pasos de Richard Muther (Systematic Layout Planning)

5.1 Paso 0. Determinación del número de áreas internas

Primero se identifican las áreas o departamentos que intervienen en la distribución.

Para el caso de estudio se definen las siguientes áreas internas:

1. Zona de ingresos y despachos
2. Zona de ensamble de torres de aire

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

3. Almacén de inventario y herramientas
4. Rampa
5. Oficina 1
6. Oficina 2
7. Cocineta y mesas de descanso

Total, de áreas: 7

Esta definición es consistente con el layout actual, porque estas son las zonas físicamente reconocibles y permanentes del taller. La zona de ensamble concentra todas las actividades productivas del proceso.

5.2 Paso 1. Cálculo del número total de relaciones en la empresa

El número total de relaciones entre áreas se calcula con la expresión:

$$N = \frac{n(n-1)}{2}$$

Para este caso:

- **n = 7 áreas**
- $N = \frac{7(7-1)}{2} = 21$

Por lo tanto, en el taller existen **21 relaciones posibles** entre las áreas definidas.

5.3 Paso 2. Cálculo de la proporción de relaciones por criterio

La proporción sugerida por Meyers para distribuir las relaciones según los códigos de cercanía: A = 5 %, E = 10 %, I = 15 %, O = 25 %, U = 40 % y X = 5 %.

Aplicando esa proporción a las 21 relaciones del caso:

- $A = 21 \times 0,05 = 1,05 \approx 1$
- $E = 21 \times 0,10 = 2,10 \approx 2$
- $I = 21 \times 0,15 = 3,15 \approx 3$
- $O = 21 \times 0,25 = 5,25 \approx 5$
- $U = 21 \times 0,40 = 8,40 \approx 8$
- $X = 21 \times 0,05 = 1,05 \approx 1$

Total = 21 relaciones

5.4 Paso 3. Construcción del gráfico de relación de actividades

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

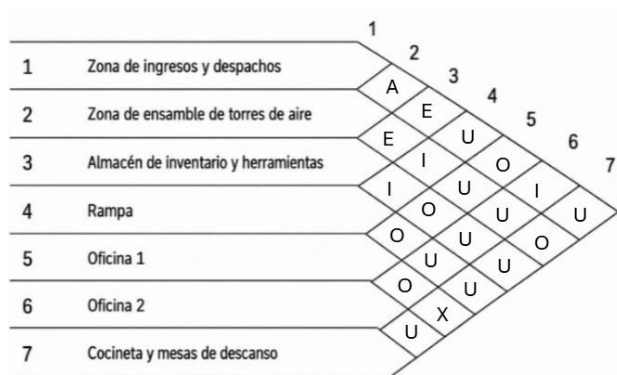


Ilustración 6) Gráfico de relación de actividades

5.5 Paso 4. Construcción del diagrama de relación de actividades

Código	Definición
A	Absolutamente necesario que estos dos departamentos estén uno junto al otro
E	Especialmente importante
I	Importante
O	Ordinariamente importante
U	Sin importancia
X	No deseable

A (Absolutamente necesario): 4 líneas continuas (=====)

E (Especialmente importante): 3 líneas continuas (====)

I (Importante): 2 líneas continuas (==)

O (Ordinariamente importante): 1 línea continua (—)

U (Sin importancia): Sin conexión (no se dibuja línea)

X (No deseable): 1 línea en zigzag

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

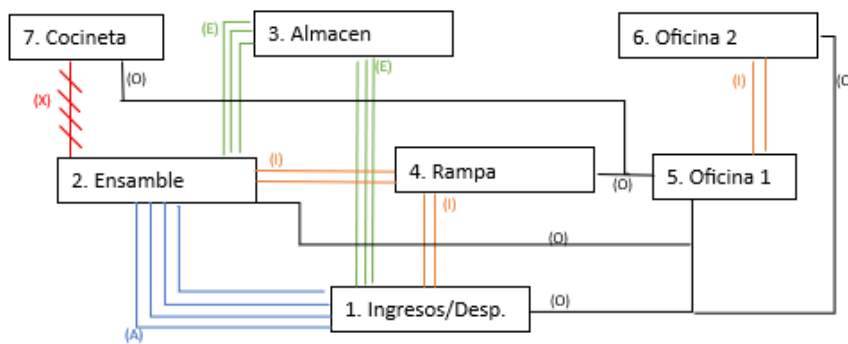


Ilustración 7) Diagrama de relación de actividades

5.6 Paso 5. Construcción del diagrama de relación de espacios

En esta fase de la metodología SLP, el diagrama de relación de actividades desarrollado en el paso anterior deja de ser abstracto y adopta dimensiones físicas. Los nodos que representaban cada departamento se reemplazan por bloques cuya escala visual y geométrica es proporcional a los metros cuadrados (m^2) que ocupa o requiere cada área dentro del taller de Fuel Control Solutions S. A. S., conservando intacta la estructura de hilos y conexiones (A, E, I, O, X).

Para su construcción, primero se determinan los requerimientos de espacio actuales a partir del levantamiento planimétrico realizado en SketchUp.

N°	Área / Departamento	Espacio Requerido (m^2)
1	Zona de ingresos y despachos	36,80
2	Zona de ensamble de torres de aire	86,10
3	Almacén de inventario y herramientas	25,20
4	Rampa	22,50
5	Oficina 1	25,85

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

N°	Área / Departamento	Espacio Requerido (m²)
6	Oficina 2	43,68
7	Cocineta y mesas de descanso	7,77
Total	Área construida disponible	247,90

Tabla 2) Requerimientos de espacio por área funcional

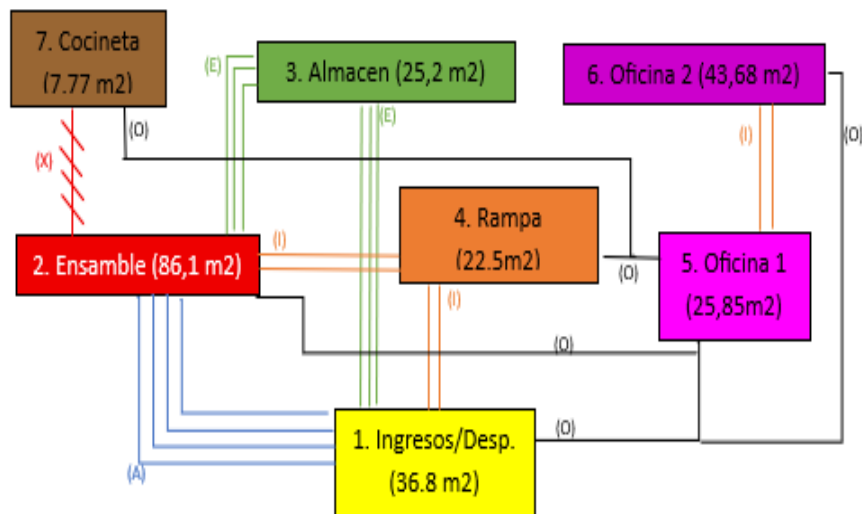


Ilustración 8) Diagrama de relación de espacios

5.6.1 Análisis

Este diagrama es el puente crítico entre la teoría relacional y la arquitectura de la planta. En términos prácticos, representa lo siguiente:

La Transición de lo Abstracto a lo Físico

En esta fase, el análisis deja de ser puramente conceptual. Los nodos que antes eran simples círculos en el diagrama de hilos (Paso 4) se transforman en bloques físicos. Este esquema es la antesala al plano de planta real (diagrama adimensional de bloques), demostrando cómo las relaciones operativas “Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

se comportan cuando se les asignan límites de espacio.

Jerarquía y Proporcionalidad Espacial (Los Bloques)

El tamaño de cada bloque refleja visual y geométricamente los metros cuadrados (m²) que requiere cada departamento.

Áreas Críticas: Representa visualmente qué procesos demandan mayor superficie, destacando la Zona de Ensamble como el núcleo productivo más grande (86,10 m²).

Impacto de Distribución: Al mostrar los bloques a escala (desde el más grande hasta el más pequeño, como la Cocineta de 7,77 m²), el diagrama permite interpretar cómo el volumen de un área condiciona espacialmente a las zonas adyacentes dentro del perímetro de la planta.

Mapeo de Flujos y Restricciones Operativas (Los Hilos)

El diagrama conserva estrictamente las conexiones estandarizadas de Richard Muther para ilustrar el flujo logístico:

Prioridad de Proximidad (A y E): Las conexiones de 4 y 3 líneas representan los flujos de materiales más pesados y frecuentes. Demuestran visualmente que Ingresos debe estar pegado a Ensamble para garantizar el menor desplazamiento posible de piezas, y que el Almacén debe estar contiguo para el acceso continuo a herramientas.

Apoyo y Circulación (I y O): Las conexiones de 1 y 2 líneas representan áreas de maniobra y supervisión. Indican que la Rampa apoya la movilización y que las Oficinas ejercen control administrativo sin necesidad de bloquear el centro operativo.

Aislamiento Obligatorio (X): La línea en zigzag, es una restricción física directa. Representa que áreas como la Cocineta deben mantenerse apartadas y en la periferia para evitar que el ruido y el tránsito del descanso interfieran con la operación o las áreas administrativas.

En resumen: Este diagrama representa el esqueleto físico de tus futuras propuestas de mejora. Es la prueba visual y matemática de que has logrado encajar un flujo de trabajo altamente eficiente dentro de las proporciones reales de tu planta industrial.

5.7 Paso 6. Construcción del diagrama adimensional de bloques

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

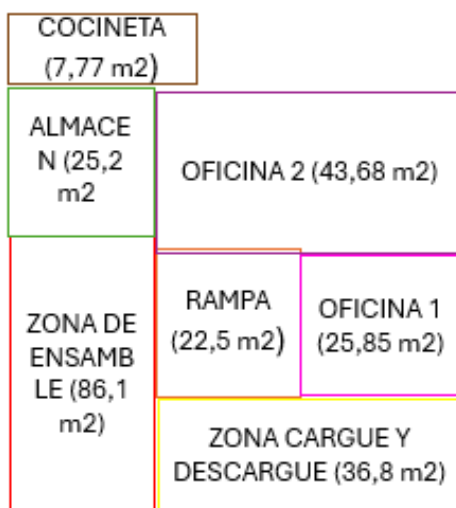


Ilustración 9) Diagrama de bloques

5.7.1 Análisis final.

El diagrama consolida la propuesta de distribución espacial del taller perteneciente a FCS, demostrando una distribución lógica, fluida y adaptada a las necesidades operativas. Del esquema se interpreta lo siguiente:

Consolidación del Núcleo Operativo (Minimización de Mudanzas)

Las relaciones de prioridad alta (A y E) se materializaron con éxito. La Zona de Ensamble (2), al ser el área más grande y central de la operación, comparte fronteras directas con la Zona de Ingresos (1) y el Almacén (3). Esta configuración garantiza que el ingreso de materiales y el abastecimiento de herramientas ocurran con el menor desplazamiento posible, atacando directamente las mudanzas por transporte y esperas identificadas en las fases previas del proyecto.

Zonificación Estratégica y Supervisión

El diseño evidencia una sectorización inteligente de la planta:

Bloque Operativo-Logístico (Izquierda/Centro): Agrupa Ingresos, Almacén, Rampa y

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Ensamble, facilitando la circulación y maniobra de cargas pesadas.

Bloque Administrativo (Derecha): Las Oficinas 1 y 2 (5 y 6) están unidas cumpliendo su relación administrativa directa ('E'). Al mismo tiempo, comparten un largo muro con la Zona de Ensamble, lo que permite ejercer la labor de supervisión ('O') sin que el personal administrativo interfiera físicamente en los pasillos de tránsito de montacargas o materiales.

Cumplimiento de Restricciones (Relación X)

La relación indeseable ('X') entre la Zona de Ensamble (2) y la Cocineta (7) se respetó de forma impecable. Al ubicar el área de descanso en la esquina inferior derecha, encapsulada debajo de la Oficina 2 y lejos del núcleo rojo, se garantiza que el ruido, el polvo y el tránsito del personal en descanso no interfieran con la operación técnica.

Viabilidad Espacial (Puente hacia el plano real)

El diagrama demuestra visualmente que la teoría relacional cabe perfectamente en la realidad física de los 247,90 m² disponibles. Las proporciones reflejan con fidelidad los requerimientos de la tabla de áreas.

6. Determinación de las restricciones físicas de planta para el caso de estudio actual

La determinación de las restricciones físicas constituye una etapa fundamental dentro de la metodología Systematic Layout Planning, ya que permite establecer cuáles elementos pueden modificarse, cuáles deben permanecer fijos y qué condiciones deben respetarse al formular una alternativa de redistribución. En el caso del taller de ensamble de torres de aire de Fuel Control Solutions S. A. S., el rediseño no parte de un espacio libre, sino de una instalación existente con áreas construidas, accesos, zonas de apoyo y relaciones funcionales previamente definidas. En este caso, el área de ensamble se reconoce como la unidad principal de análisis, junto con las zonas de almacenamiento, circulación, herramientas, materiales y áreas de apoyo. (Muther & Hales, 2015).

6.1 Restricción de la infraestructura existente

La primera restricción corresponde a la configuración física actual del taller. Las oficinas, la cocineta, el almacén, la rampa, los accesos y la zona de ingresos y despachos forman parte de la estructura ya construida y condicionan las posibilidades de redistribución.

Por esta razón, la propuesta no puede desarrollarse como si se tratara de una planta nueva. Debe adaptarse a:

- Muros y divisiones existentes.
- Accesos peatonales y operativos.
- Entrada de cargue y descargue.
- Ubicación de oficinas y áreas administrativas.
- Rampa de circulación y manejo de materiales.
- Cocineta y zona de descanso.

"Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA".

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

- Espacio total disponible dentro del taller.

Estas condiciones establecen el contorno dentro del cual debe organizarse el nuevo layout.

6.2 Restricción de elementos fijos y móviles

Dentro del caso de estudio, no todos los elementos tienen la misma posibilidad de reubicación. Las áreas construidas y los espacios de apoyo se consideran fijos o de baja flexibilidad, mientras que las mesas, puestos de trabajo y algunos elementos internos del área de ensamble pueden reorganizarse.

En consecuencia, se establecen las siguientes condiciones:

Elemento o zona	Condición	Implicación para el diseño
Oficina 1	Fija	No puede desplazarse ni reducirse
Oficina 2	Fija	Debe conservar acceso y separación del flujo productivo
Cocineta y descanso	Fija	Debe mantenerse alejada del flujo principal de ensamble
Zona de ingresos y despachos	Fija	Debe conservar conexión con el acceso de cargue y descargue
Rampa	Fija	No puede obstruirse ni utilizarse como almacenamiento
Almacén de inventario y herramientas	Fijo	Debe conservar accesibilidad desde el área de ensamble
Zona de ensamble	Reorganizable internamente	Pueden redistribuirse mesas, puestos y recursos de trabajo
Mesas y puestos de trabajo	Móviles	Constituyen los principales elementos de intervención

Tabla 3) Restricciones físicas de planta

La principal posibilidad de mejora se concentra, por tanto, en la organización interna de la zona de ensamble y en la ubicación relativa de sus mesas y recursos.

6.3 Restricción asociada a la zona única de ensamble

Una condición esencial del proyecto es que el ensamble mecánico, eléctrico y neumático se desarrolle dentro de una sola zona física. Estas actividades representan etapas diferentes del proceso, pero no corresponden a departamentos separados.

Por esta razón, la propuesta no debe dividir artificialmente el taller en tres áreas independientes. El rediseño debe mantener una única zona de ensamble, organizada internamente según la secuencia:

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Preparación → ensamble mecánico → ensamble eléctrico → ensamble neumático → verificación → liberación.

Esta condición obliga a que la redistribución de mesas facilite el cambio entre actividades sin generar transportes innecesarios dentro del mismo espacio.

6.4 Restricción de espacio disponible

El levantamiento planimétrico establece un área construida disponible de aproximadamente 247,90 m², distribuida de la siguiente manera:

N.º	Área	Superficie
1	Zona de ingresos y despachos	36,80 m ²
2	Zona de ensamble de torres de aire	86,10 m ²
3	Almacén de inventario y herramientas	25,20 m ²
4	Rampa	22,50 m ²
5	Oficina 1	25,85 m ²
6	Oficina 2	43,68 m ²
7	Cocineta y mesas de descanso	7,77 m ²
	Total	247,90 m²

Tabla 4) Restricciones de espacio disponible

El área de ensamble representa el espacio de mayor superficie, pero debe albergar todas las actividades productivas, las mesas, los equipos, las zonas de maniobra y los recorridos de los operarios. Por ello, su aprovechamiento debe evaluarse no solo por ocupación, sino también por funcionalidad y circulación.

6.5 Restricción de circulación

La redistribución debe mantener libres las rutas de acceso, pasillos y zonas de maniobra. Ninguna mesa, equipo, material o producto en proceso puede ubicarse de manera que:

- Bloquee la entrada principal.
- Obstruya la zona de cargue y descargue.
- Impida el acceso al almacén.
- Interfiera con las entradas de las oficinas.
- Obligue a cruzar materiales por zonas administrativas o de descanso.

Esta restricción es especialmente importante porque el diagnóstico actual evidenció obstrucciones parciales, cruces entre personas y materiales y ausencia de rutas claramente delimitadas.

6.6 Restricción de seguridad

La propuesta debe reducir condiciones inseguras asociadas con materiales en el piso,

“Este documento es propiedad intelectual del POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

herramientas fuera de su sitio, cruces de circulación y proximidad inadecuada entre actividades. En términos de diseño, esto implica:

- Mantener pasillos despejados.
- Delimitar áreas de trabajo y almacenamiento.
- Separar la cocineta del flujo de ensamble.
- Evitar que materiales o producto en proceso ocupen rutas de evacuación.
- Organizar equipos de soldadura, corte y prueba en puntos controlados.
- Conservar espacio de maniobra alrededor de las mesas.
- Evitar interferencias entre circulación peatonal y movimiento de materiales.

La seguridad debe considerarse como criterio de selección del layout y no como una condición posterior a la redistribución. (Moatari-Kazerouni et al., 2015).

6.7 Restricción de cercanía funcional

Las relaciones establecidas mediante la matriz SLP también condicionan el diseño físico. Las áreas con relaciones de mayor importancia deben quedar próximas o adyacentes, mientras que las relaciones no deseables deben mantenerse separadas.

Las principales condiciones de cercanía son:

- Zona de ingresos y despachos – zona de ensamble: A, absolutamente necesaria.
- Zona de ensamble – almacén: E, especialmente importante.
- Oficina 1 – Oficina 2: E, especialmente importante.
- Ingresos – almacén: E, especialmente importante.
- Ensamble – cocineta: X, relación no deseable.

Estas relaciones orientan la ubicación de los bloques y restringen alternativas que, aunque sean físicamente posibles, no resulten funcionales.

6.8 Restricción de abastecimiento

El almacén debe permanecer accesible desde la zona de ensamble, debido a que el proceso requiere consulta frecuente de herramientas, tornillería, componentes eléctricos, elementos neumáticos y piezas mecánicas.

Una distribución que aumente la distancia entre ensamble y almacén generaría:

- Mayor tiempo de búsqueda.
- Incremento de desplazamientos.
- Interrupciones frecuentes.
- Acumulación de materiales en las mesas.
- Mayor riesgo de pérdidas o mezclas de componentes.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Por tanto, el rediseño debe favorecer el abastecimiento en el punto de uso o mediante recorridos cortos y controlados.

6.9 Restricción por secuencia del proceso

El proceso de ensamble sigue una secuencia definida y cualquier redistribución debe respetarla. Aunque todas las etapas ocurren dentro de una sola zona, las mesas deben disponerse de forma que permitan avanzar sin retrocesos innecesarios.

La organización debe facilitar el flujo:

Ingreso de materiales → preparación → ensamble → verificación → producto terminado → despacho.

Las configuraciones que generen retornos, cruces o desplazamientos hacia zonas ya recorridas deben descartarse, incluso cuando aprovechen aparentemente mejor el espacio.

6.10 Restricción de producto en proceso y producto terminado

El área de ensamble debe disponer de espacio suficiente para el producto en proceso sin invadir pasillos o zonas de apoyo. De igual manera, el producto terminado debe ubicarse temporalmente cerca de la salida, pero fuera de la circulación principal.

Por tanto, se requiere:

- Un punto definido para materiales pendientes.
- Una zona temporal para producto en proceso.
- Un espacio identificado para producto terminado.
- Separación entre componentes, producto parcialmente ensamblado y equipo liberado.

Esta restricción evita acumulación, confusión y manipulación innecesaria.

6.11 Restricción ergonómica

La redistribución debe considerar que los operarios realizan actividades de corte, soldadura, programación, ensamble eléctrico y conexión neumática. Por ello, las mesas deben proporcionar espacio suficiente para trabajar, acceder a herramientas y manipular componentes sin adoptar posturas forzadas.

Las estaciones no deben quedar demasiado próximas entre sí cuando esto limite el movimiento del operario o genere interferencias entre actividades simultáneas.

6.12 Restricción económica

El proyecto busca una mejora basada principalmente en redistribución, organización y aprovechamiento del espacio existente. No contempla inicialmente obras civiles de gran magnitud.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

ni ampliaciones estructurales. (Muther & Hales, 2015; Suhardi et al., 2021).

En consecuencia, deben priorizarse soluciones que involucren:

- Reubicación de mesas.
- Demarcación de áreas.
- Organización de herramientas.
- Clasificación de materiales.
- Ajuste de rutas.
- Instalación de elementos básicos de control visual.
- Adecuaciones menores.

Esta condición permite que la propuesta sea viable y de menor costo frente a una remodelación completa.

6.13 Síntesis de restricciones

Tipo de restricción	Condición principal
Infraestructura	Mantener muros, accesos y áreas construidas
Movilidad	Reubicar principalmente mesas y elementos internos
Espacio	Trabajar dentro de los 247,90 m ² disponibles
Proceso	Mantener una sola zona de ensamble
Flujo	Evitar retrocesos, cruces y desplazamientos excesivos
Seguridad	Conservar pasillos, accesos y zonas de maniobra libres
Cercanía SLP	Respetar relaciones A, E, I, O y X
Abastecimiento	Mantener almacén accesible desde ensamble
Ergonomía	Garantizar espacio de operación alrededor de los puestos
Economía	Evitar obras mayores y priorizar redistribución
Producto en proceso	Definir espacios sin invadir circulación
Producto terminado	Ubicarlo cerca del despacho y fuera del flujo interno

Tabla 5) Síntesis de restricciones

6.14 Análisis final

Las restricciones físicas identificadas demuestran que la propuesta de mejora debe desarrollarse dentro de una instalación parcialmente rígida, en la cual las principales áreas funcionales ya están construidas. Por ello, el alcance real del rediseño se concentra en la organización interna de la zona de ensamble, la redistribución de las mesas, la definición de rutas, la reducción de desplazamientos y la ubicación de recursos cerca del punto de uso.

La restricción más relevante es mantener el ensamble como una sola zona productiva, evitando

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

dividirlo físicamente en etapas mecánica, eléctrica y neumática. En su lugar, estas actividades deben organizarse secuencialmente dentro del mismo espacio. Al mismo tiempo, debe conservarse la cercanía con ingresos y despachos y con el almacén, mientras se mantiene separada la cocineta del núcleo productivo.

En consecuencia, las restricciones físicas no impiden el rediseño, pero sí delimitan las alternativas viables. La propuesta seleccionada deberá demostrar que respeta la infraestructura, mejora la circulación, mantiene las relaciones de cercanía definidas por el SLP y aprovecha de forma más eficiente el espacio disponible.

7. Presentación de propuesta de mejora 1: Diseño físico de planta con enfoque en SLP y análisis de recorrido en diagrama adimensional de bloques

7.1 Propuesta de mejora 1

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

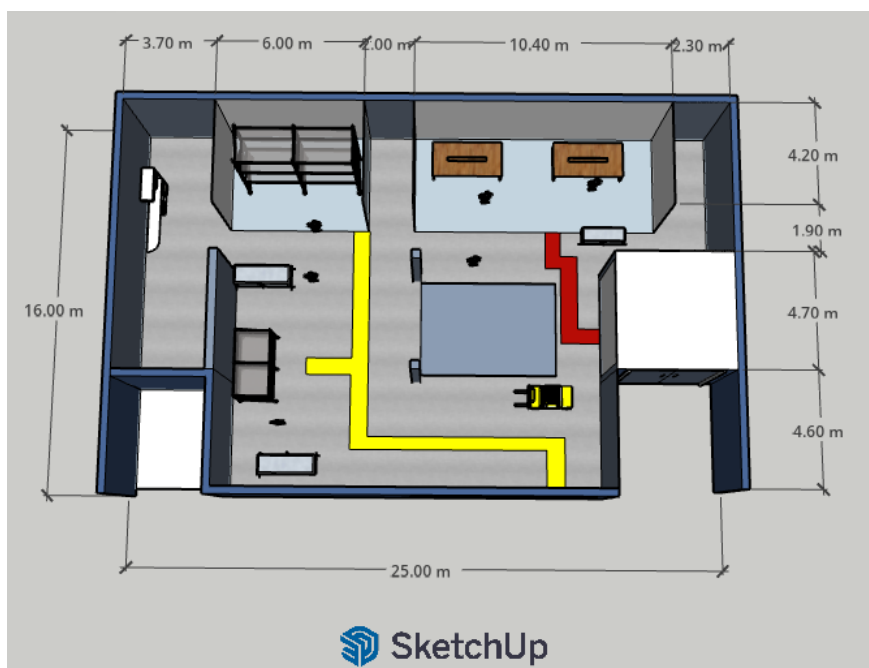


Ilustración 10) Propuesta de mejora 1 SketchUp

Basándose en las restricciones físicas y estructurales identificadas previamente, se concluyó que la propuesta de mejora debía enfocarse en la demarcación visual de la planta y en una redistribución estratégica de la zona de ensamble. El objetivo principal es garantizar que los operarios puedan aprovechar la totalidad del espacio disponible, eliminando cruces innecesarios de material y bloqueos generados por una mala disposición de las mesas de trabajo o los racks de suministros.

A partir del modelo 3D desarrollado, se pueden destacar las siguientes implementaciones derivadas del análisis metodológico (SLP):

- **Demarcación y Señalización de Áreas:** Se implementó una clara delimitación en el suelo utilizando líneas amarillas para definir pasillos de tránsito logístico y peatonal, separándolos visualmente de las áreas de operación segura (demarcadas con suelo verde). Esto ataca directamente las mudas

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

- por transportes innecesarios y demoras.
- Optimización de la Zona de Ensamble (Área 2): Al ser el núcleo del taller, las mesas de trabajo y los estantes de herramientas se alinearon de forma paralela y ordenada. Esta disposición garantiza un flujo de trabajo continuo, asegurando que los operarios tengan los insumos a la mano sin obstaculizar los pasillos.
- Respeto por las Restricciones Físicas: Como se evidencia en el extremo inferior izquierdo, la Rampa de acceso y cargue mantiene su ubicación estructural inamovible, pero ahora cuenta con un pasillo de conexión directo y despejado hacia el Almacén de Inventario y la Zona de Ensamble.
- Aislamiento Acústico y Operativo: Fiel al diagrama adimensional de bloques, las oficinas y la cocineta se mantienen confinadas en el sector derecho de la edificación, cumpliendo con la relación de aislamiento ('X') respecto al ruido y tránsito del área de ensamblaje.

7.2 análisis de recorrido en diagrama adimensional de bloques

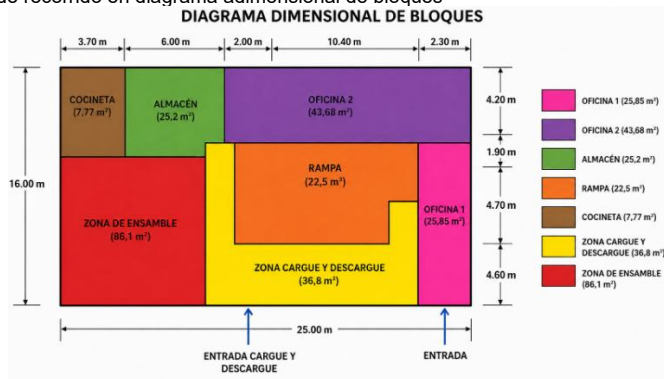


Ilustración 11) Diagrama de bloques propuesta 1

Aunque el diseño arquitectónico mantiene fielmente la estructura fundamental del diagrama adimensional de bloques (desarrollado bajo los 6 pasos de la metodología SLP de Richard Muther), esta vista en planta permite evidenciar con mayor claridad la zonificación física y real de las áreas.

A partir de esta distribución, se destaca una separación estratégica en dos grandes bloques funcionales:

- El núcleo operativo y logístico: Agrupa el taller de ensamblaje, el almacén de inventario y la zona de cargue y descargue (conectada directamente a la rampa). El diseño abierto y paralelo de esta zona facilita la libre circulación de materiales y herramientas.
- El bloque administrativo: Las oficinas 1 y 2 se encuentran claramente delimitadas y separadas del área operativa mediante muros divisorios. Esta disposición respeta las restricciones de ruido y tráfico

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

pesado, garantizando un entorno adecuado para las labores de gestión y supervisión sin perder el contacto visual o la adyacencia necesaria con la zona de ensamble.

8. Presentación de propuesta de mejora 2: Diseño físico de planta con enfoque en SLP y análisis de recorrido en diagrama adimensional de bloques

8.1 Propuesta de mejora 2

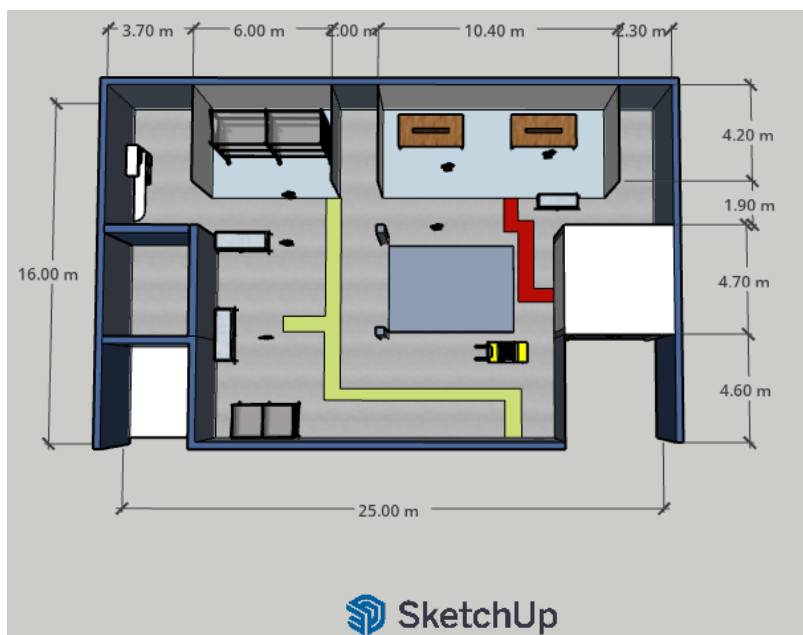


Ilustración 12) Propuesta de mejora 2 SketchUp

Esta segunda perspectiva del modelo 3D profundiza en la interacción directa entre el núcleo de producción y su principal fuente de abastecimiento, materializando las relaciones establecidas previamente en la matriz metodológica SLP.

A partir de esta vista detallada, se pueden destacar las siguientes implementaciones operativas:

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

- Proximidad Estratégica (Cumplimiento de la Relación 'E'): Se evidencia la adyacencia física y funcional entre la Zona de Ensamble (2) y el Almacén de Inventario y Herramientas (3). Esta disposición garantiza un acceso continuo y rápido a consumibles, piezas y herramientas, atacando directamente la muda de movimientos innecesarios y reduciendo los tiempos de espera de los operarios.
- Diseño del Almacén y Punto de Despacho: El almacén está estructurado con estanterías modulares (racks) para maximizar el almacenamiento vertical. Además, cuenta con un diseño frontal abierto que mira directamente a las mesas de trabajo, agilizando la entrega de materiales sin que el personal del almacén deba invadir la zona de ensamble.
- Gestión Visual y Seguridad Industrial: Se refuerza la estrategia de delimitación visual en el suelo. Las franjas amarillas establecen claramente los límites entre las estaciones de trabajo (área verde) y los pasillos de circulación. Esto asegura que el mobiliario, los equipos y los operarios se mantengan dentro de un perímetro seguro, evitando bloqueos en las rutas de evacuación o tránsito logístico.

8.2 análisis de recorrido en diagrama adimensional de bloques

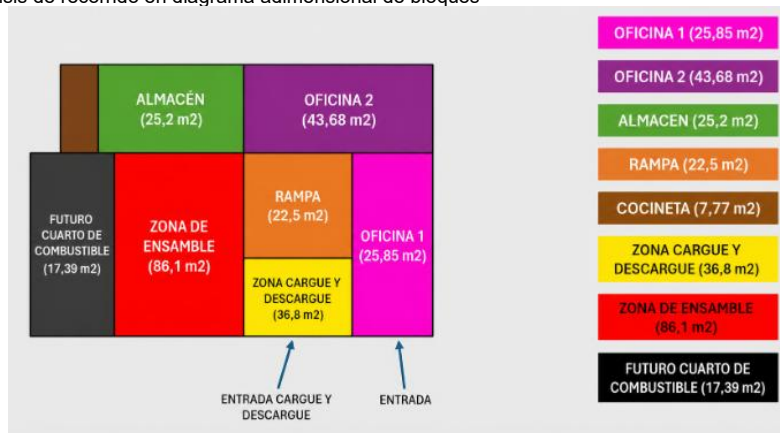


Ilustración 13) Diagrama de bloques propuesta 2

Esta segunda propuesta de distribución surge como una alternativa espacial que, manteniendo el rigor matemático de la matriz de relaciones original, explora una configuración geométrica diferente para los bloques de Fuel Control Solutions S.A.S. El objetivo de esta alternativa es evaluar un flujo de trabajo distinto frente a las mismas restricciones físicas de la planta.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Del análisis de esta segunda configuración, se destaca lo siguiente:

- Reconfiguración del Flujo Operativo: A diferencia de la primera propuesta, esta distribución plantea una orientación distinta para el núcleo productivo. Se mantiene la relación crítica ('A' y 'E') entre la Zona de Ingresos (1), la Zona de Ensamble (2) y el Almacén (3), pero su disposición geométrica busca optimizar de manera diferente el uso de los pasillos principales, posiblemente apuntando a un flujo en forma de "U" o en línea recta, dependiendo de la cercanía con la Rampa (4).
- Integración Administrativa Alternativa: Las Oficinas 1 y 2 (5 y 6) conservan su relación de proximidad ('E'), pero su reubicación en este plano sugiere un enfoque distinto para la supervisión operativa o el aprovechamiento de la luz y accesos del recinto, sin bloquear el tránsito de materiales.
- Mantenimiento de Restricciones (Relación X): Se verifica que, a pesar de la reestructuración de los bloques mayores, la Cocineta (7) permanece en una zona periférica. Esto ratifica el cumplimiento de la restricción de aislamiento acústico y operativo respecto a la Zona de Ensamble, garantizando la seguridad y el confort del personal.

9. Análisis matemático de costos, tiempos y distancias de la propuesta de mejora 1

El análisis toma como referencia el cursograma actual y la propuesta de distribución desarrollada mediante SLP. Se parte de los siguientes datos:

Variable	Situación actual	Propuesta 1
Tiempo por torre	370 min	366 min
Tiempo de transporte	7 min	3 min
Distancia recorrida	15,20 m	5,00 m
Jornada diaria	10 h	10 h
Días trabajados	5 días/semana	5 días/semana

Tabla 6) Comparación cursograma / propuesta 1

Para 2026, el salario mínimo mensual vigente en Colombia es de **\$1.750.905 COP**, sin incluir auxilio de transporte. El auxilio de transporte vigente es de \$249.095, pero no se incorpora al cálculo principal porque no constituye salario directo por tiempo trabajado. (Presidencia de la República de Colombia, 2026).

9.1 Cálculo del tiempo laboral disponible

La jornada informada es: $10 \text{ horas/día} \times 5 \text{ días/semana} = 50 \text{ horas/semana}$

Para convertirla a horas promedio mensuales:

$$Hm = 50 \times \frac{52}{12}$$

"Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA".

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

$$Hm = 216,67 \text{ horas/mes}$$

Periodo	Tiempo disponible
Diario	600 min
Semanal	3.000 min
Mensual promedio	13.000 min

Tabla 7) Período / Tiempo disponible
Costo directo de mano de obra
Costo por hora

$$\text{Costo por hora} = \frac{1.750.905}{216,67} = 8.081,10 \text{ COP/hora}$$

Costo por minuto

$$\text{Costo por min} = \frac{8.081,10}{60} = 134,69 \text{ COP/min}$$

El valor anterior corresponde a un costo salarial directo. No incluye auxilio de transporte, prestaciones sociales, aportes a seguridad social, parafiscales ni recargos por trabajo suplementario. Por ello, representa una estimación conservadora del costo real del tiempo empleado.

Ahorro de distancia

$$= 15,20m - 5,00m = 10,20m/torre$$

$$\text{Reducción porcentual} = \left[\frac{(15,20-5,00)}{15,20} \right] \times 100 = 67,11$$

La reducción del 67,11 % se explica por la mayor cercanía entre la zona de ensamble, el almacén y la zona de ingresos y despachos. Las etapas mecánica, eléctrica y neumática permanecen dentro de una sola zona productiva, por lo que se eliminan recorridos internos que no agregan valor.

Producción	Distancia actual	Distancia propuesta	Ahorro
1 torre	15,20 m	5,00 m	10,20 m
10 torres	152 m	50 m	102 m
50 torres	760 m	250 m	510 m
100 torres	1.520 m	500 m	1.020 m

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Tabla 8) Ahorro de distancia propuesta1

$$\text{Ahorro de tiempo} = 370 \text{ min} - 366 \text{ min} = 4 \text{ min/torre}$$

$$\text{Reducción porcentual} = \left[\frac{(370-366)}{370} \right] \times 100 = 1,08$$

$$\text{Tiempo actual} = \frac{370}{60} = 6,17 \text{ horas/torre}$$

$$\text{Tiempo propuesto} = \frac{366}{60} = 6,10 \text{ horas/torre}$$

Producción	Minutos ahorrados	Horas recuperadas	Interpretación
1 torre	4	0,07	Ahorro unitario
10 torres	40	0,67	Menos de una hora
50 torres	200	3,33	Más de tres horas
100 torres	400	6,67	Casi una jornada productiva

Tabla 9) Ahorro x minutos propuesta1

$$\text{Costo actual} = 370 \text{ min} \times 134,69 = 49.834,62 \text{ COP/torre}$$

$$\text{Costo propuesto} = 366 \text{ min} \times 134,69 = 49.295,86 \text{ COP/torre}$$

$$\text{Ahorro directo} = 4 \text{ min} \times 134,69 = 538,76 \text{ COP/torre}$$

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Las pequeñas diferencias frente a cálculos efectuados con más decimales se deben al redondeo del costo por minuto. Para efectos del estudio se conserva el valor de \$134,69 COP por minuto.

Cantidad de torres	Minutos ahorrados	Horas recuperadas	Ahorro salarial directo
1	4	0,07	\$538,76
10	40	0,67	\$5.387,60
25	100	1,67	\$13.469,00
50	200	3,33	\$26.938,00
100	400	6,67	\$53.876,00

Tabla 9) Horas recuperadas x cantidad propuesta1

Capacidad actual

$$= \frac{600}{370} = 1,622 \text{ torres/día}$$

Capacidad propuesta

$$= \frac{600}{366} = 1,639 \text{ torres/día}$$

Día	1,622	1,639	0,017 torre
Semana	8,108	8,197	0,089 torre
Mes promedio	35,135	35,519	0,384 torre

Tabla 10) Torres recuperadas propuesta1

Incremento de productividad

$$\left[\frac{(1,639-1,622)}{1,622} \right] \times 100 \approx 1,05$$

Costo actual de transporte por unidad

$$= 7 \text{ min} \times 134,69 = 942,83 \text{ COP/torre}$$

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Costo propuesto de transporte

$$= 3 \text{ min} \times 134,69 = 404,07 \text{ COP/torre}$$

Reducción del costo de transporte

$$= \$942,83 - \$404,07 = \$538,76 \text{ COP/torre}$$

$$\text{Reducción porcentual} = \left(\frac{538,76}{942,83} \right) \times 100 = 57,14$$

La reducción porcentual del costo de transporte es mayor que la reducción del tiempo total, porque la mejora se concentra específicamente en actividades de desplazamiento. El tiempo de transformación del producto permanece prácticamente igual.

Indicador	Método actual	Propuesta 1	Mejora estimada
Distancia por torre (m)	15,20 m	5,00 m	10,20 m
Reducción de distancia (%)	15,2	5	67,11 %
Tiempo por torre (min)	370 min	366 min	4 min
Reducción del tiempo total (%)	370	366	1,08 %
Tiempo de transporte (min)	7 min	3 min	4 min
Costo unitario directo por torre (\$)	\$49.834,62	\$49.295,86	\$538,76
Costo de transporte x unidad (\$)	\$942,83	\$404,07	\$538,76
Reducción del costo de transporte (%)	942,83	404,07	57,14 %
Capacidad diaria teórica (%)	1,622	1,639	+1,05 %

Tabla 11) Comparación mejor estimada propuesta1

La propuesta de mejora 1 reduce la distancia recorrida de 15,20 a 5,00 metros por torre, lo que equivale a una disminución del 67,11 %. Esta variación constituye el resultado más significativo del rediseño, debido a que la distribución propuesta acerca las áreas con mayor interacción y elimina movimientos innecesarios dentro de la zona de ensamble.

El tiempo total estimado disminuye de 370 a 366 minutos por unidad. Aunque la reducción directa es de 1,08 %, el efecto acumulado aumenta con el volumen de producción. Por cada 100 torres se recuperan aproximadamente 400 minutos, equivalentes a 6,67 horas de capacidad productiva.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Con un salario mínimo mensual de \$1.750.905 COP y una jornada utilizada para el ejercicio de 216,67 horas mensuales, el costo salarial directo se estima en \$8.081,10 por hora y \$134,69 por minuto. El ahorro atribuible a la reducción del transporte es de aproximadamente \$538,76 por torre y el costo directo del transporte se reduce en 57,14 %.

Estos resultados son conservadores porque solo monetizan el tiempo directo. No incorporan el valor económico de una menor búsqueda de herramientas, la reducción de cruces, la disminución de fatiga, la prevención de daños ni la posible reducción de retrabajos. Por ello, el beneficio real de la propuesta puede ser superior al calculado.

En conclusión, la propuesta de mejora 1 es técnicamente favorable: disminuye recorridos, libera capacidad productiva y reduce el costo asociado a actividades que no agregan valor. Antes de su implementación definitiva, se recomienda validar las distancias en SketchUp y confirmar los tiempos mediante una prueba piloto en planta.

10. Análisis matemático de costos, tiempos y distancias de la propuesta de mejora 2

El presente análisis evalúa cuantitativamente la propuesta de mejora 2 del taller de ensamble de torres de aire, tomando como línea base el cursograma del método actual y la redistribución física planteada mediante la metodología Systematic Layout Planning (SLP). Los cálculos consideran la reducción esperada de recorridos, tiempos de transporte, costo directo de mano de obra y capacidad productiva. (Freivalds & Niebel, 2009).

Variable	Valor
Tiempo total actual por torre	370 min
Distancia total actual	15,20 m
Tiempo de transporte actual	7 min
Tiempo total estimado – propuesta 2	365,5 min
Distancia estimada – propuesta 2	4,40 m
Tiempo de transporte estimado – propuesta 2	2,5 min
Jornada laboral	10 horas diarias
Días de trabajo	Lunes a viernes
Horas semanales	50 h

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

SMLV usado en el cálculo	\$1.750.905 COP/mes
--------------------------	---------------------

Tabla 12) Datos de entrada propuesta2

Efecto de la propuesta 2 sobre el flujo

- La zona de cargue y descargue queda adyacente a la rampa.
- La zona de cargue y descargue mantiene acceso directo al área de ensamble.
- El almacén conserva proximidad funcional con el ensamble.
- Las actividades mecánicas, eléctricas y neumáticas se concentran en una sola zona de ensamble.
- El producto terminado puede dirigirse hacia la salida sin cruzar las oficinas.
- El futuro cuarto de combustible queda separado del flujo principal de producción.

Desplazamiento	Actual (m)	Propuesta 2 (m)
Cargue y descargue → zona de ensamble	2,30	0,80
Acceso al almacén y herramientas	0,40	0,60
Movimiento entre actividades dentro del ensamble	1,00	1,00
Traslado relacionado con la actividad neumática	4,00	0,80
Verificación final	2,50	0,40
Producto terminado → salida o despacho	5,00	0,80
Total	15,20	4,40

Tabla 13) Análisis de distancias

Ahorro de distancia por torre

$$AD = DA - DP2$$

$$AD = 15,20 - 4,40$$

$$AD = 10,80m \text{ por torre}$$

Porcentaje de reducción de distancia

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

$$R_D = \left(\frac{(15,20 - 4,40)}{15,20} \right) \times 100$$

$$R_D = 71,05$$

Producción (torres)	Método actual (m)	Propuesta 2 (m)	Distancia evitada (m)
1	15,20	4,40	10,80
10	152	44	108
25	380	110	270
50	760	220	540
100	1.520	440	1.080

Tabla 14) Reducción de distancia

Para una producción de 100 torres, la propuesta permitiría evitar aproximadamente 1,08 km de recorrido interno acumulado.

Componente	Actual (min)	Propuesta 2 (min)
Operaciones, inspecciones y demás actividades	363	363
Transporte interno	7	2,5
Tiempo total por torre	370	365,5

Tabla 15) Análisis de tiempos

Ahorro de tiempo por torre

$$A_T = T_A - T_P$$

$$A_T = 370 - 365,5$$

$$A_T = 4,5 \text{ min por torre}$$

Reducción porcentual del tiempo

$$R_T = \left(\frac{(370 - 365,5)}{370} \right) \times 100$$

Producción (torres)	Minutos ahorrados	Horas recuperadas
1	4,5	0,075
10	45	0,75
25	112,5	1,88

"Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA".

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Producción (torres)	Minutos ahorrados	Horas recuperadas
50	225	3,75
100	450	7,50

Tabla 16) Reducción porcentual del tiempo

Cálculo del costo de mano de obra

Horas semanales: $10h/día \times 5días = 50h/semana$.

Horas mensuales promedio: $50 \times \frac{52}{12} = 216,67h/mes$.

Minutos mensuales promedio: $216,67 \times 60 = 13.000 min/mes$.

Costo por hora: $\frac{1.750.905}{216,67} = 8.081,10COP/h$.

Costo por minuto: $\frac{1.750.905}{13.000} = 134,69COP/min$.

Costo directo de mano de obra por torre

Concepto	Cálculo	Resultado (COP)
Método actual	$370 \times \$134,685$	\$49.833,45
Propuesta de mejora 2	$365,5 \times \$134,685$	\$49.227,37
Ahorro directo por torre	$4,5 \times \$134,685$	\$606,08

Tabla 17) Costo directo de mano de obra por torre

Ahorro económico acumulado

Producción (torres)	Tiempo recuperado	Ahorro salarial directo
1	4,5 min	\$606,08
10	45 min	\$6.060,83
25	112,5 min	\$15.152,06
50	225 min	\$30.304,13
100	450 min	\$60.608,25
200	900 min	\$121.216,50

Tabla 18) Ahorro económico acumulado

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

El ahorro calculado representa capacidad productiva liberada dentro de la misma jornada; no implica necesariamente una reducción del salario mensual pagado.

Costo del transporte interno

Costo actual de transporte = $7min \times 134,685 = 942,80COP$ por torre

Costo de transporte – propuesta 2 = $2,5min \times 134,685 = 336,71COP$ por torre

Ahorro = $\$942,80 - \$336,71 = \$606,09COP$ por torre

Reducción del costo de transporte = $\frac{942,80-336,71}{942,80} \times 100 = 64,29\%$

Periodo	Método actual	Propuesta 2	Diferencia teórica
Día	$600 / 370 = 1,622$	$600 / 365,5 = 1,642$	+0,020
Semana	$3.000 / 370 = 8,108$	$3.000 / 365,5 = 8,208$	+0,100
Mes promedio	$13.000 / 370 = 35,135$	$13.000 / 365,5 = 35,568$	+0,433

Tabla 19) Capacidad productiva

$$I_q = \frac{1,642-1,622}{1,622} \times 100 = 1,23$$

El incremento porcentual estimado de la capacidad diaria: 1,23 %.

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Indicador	Método actual	Propuesta 2	Mejora estimada
Distancia por torre (m)	15,20 m	4,40 m	10,80 m
Reducción de distancia (%)	15,2	4,40	71,05 %
Tiempo por torre (min)	370 min	365,5 min	4,5 min
Reducción del tiempo total (%)	370	365,5	1,22 %
Tiempo de transporte (min)	7 min	2,5 min	4,5 min
Costo unitario directo por torre (\$)	\$49.833,45	\$49.227,37	\$606,08
Costo de transporte x unidad (\$)	\$942,80	\$336,71	\$606,09
Reducción del costo de transporte (%)	942,80	336,71	64,29 %
Capacidad diaria teórica (%)	1,622	1,642	1,23 %

Tabla 20) Comparación mejor estimada propuesta2

11. Determinación de la propuesta óptima a implementar en el caso de estudio con el software SketchUp

El desarrollo del diseño espacial mediante el software SketchUp arrojó dos alternativas viables de distribución (Propuesta 1 y Propuesta 2). Es fundamental destacar que ambas propuestas respetaron estrictamente el diseño estructural inamovible de la planta (columnas, rampa y muros principales). Las modificaciones se enfocaron de manera exclusiva en la reorientación y reubicación de las mesas de trabajo dentro del Área de Ensamble, con el objetivo de eliminar los cruces en los pasillos de tránsito logístico y mitigar los movimientos innecesarios de los operarios.

Para determinar cuál es la alternativa óptima, se realizó una ponderación matemática de factores (Análisis multicriterio), evaluando el impacto de cada distribución frente a las problemáticas originales de la empresa:

Comparación y selección de alternativas de Layout

Criterio	Peso	Propuesta 1	Propuesta 2
Reducción de distancias	35 %	3 = 1,05	4 = 1,40
Eliminación de cruces y cuellos de botella	30 %	4 = 1,20	3 = 0,90
Facilidad de supervisión	20 %	3 = 0,60	4 = 0,80
Aprovechamiento ergonómico	15 %	4 = 0,60	4 = 0,60
Total	100 %	3,45	3,70

Tabla 21) Matriz de factores ponderados

Nota: Escala de 1 a 4 (1: Deficiente, 4: Excelente).

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Conclusión de la Selección: El análisis integrado de los indicadores cuantitativos y cualitativos evidencia que la propuesta 2 constituye la alternativa más conveniente para el taller de ensamble. Esta configuración reduce la distancia recorrida por torre de 15,20 a 4,40 metros, disminuye el tiempo de transporte de 7 a 2,5 minutos y genera un ahorro directo estimado de \$606,08 por unidad. Adicionalmente, conserva la cercanía entre almacén y ensamble, ubica la zona de cargue y descargue junto a la rampa y mantiene separados los flujos productivos de las áreas administrativas. En consecuencia, se selecciona la propuesta 2 para su validación espacial en SketchUp.

12. Determinación de propuesta de mejora espacial: Análisis de Guerchet

Para comprobar la viabilidad espacial de la distribución propuesta en SketchUp, se aplicó el método de Guerchet, el cual permite calcular el área total necesaria para instalar los elementos fijos del área de ensamble, considerando no solo el espacio físico ocupado por cada equipo, sino también las superficies requeridas para la operación, el abastecimiento y la circulación.

La tabla actual incorpora un análisis más completo, debido a que incluye los siguientes elementos:

- Un estante de herramientas.
- Dos mesas principales de trabajo.
- Un gancho móvil.
- Un estibador eléctrico.
- Tres operarios.

A continuación, se presenta la comprobación del espacio crítico para las mesas de ensamble

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Nº	Máquinas	Cantidad (n)	Cantidad N (Nº de lados)	Largo (L) (mts)	Ancho (A) (mts)	Alto (h) (mts)	Superficie Estática (Ss)	Area Total = (Ss) * n	Superficie Gravitac (Sg)	Area Total * altura	Ss + Sg	h_{EM}	h_{EF}	K	Superficie Evoluc. (Se)	Superficie/e st. (St)	Superficie Total. (St)
1	Estante de herramientas	1	1	1,80	0,80	1,25	1,44	1,44	1,44	1,90	2,88	1,709	1,050	0,81	2,34	5,22	5,22
2	Mesa de trabajo 1	1	4	2,40	1,20	1,00	2,88	2,88	11,52	2,88	14,40				11,68	26,08	26,08
3	Mesa de trabajo 2	1	4	2,40	1,20	1,00	2,88	2,88	11,52	2,88	14,40				11,68	26,08	26,08
TOTAL								7,20		7,56					0,00	0,00	
4	Gancho móvil	1	0	2,00	0,50	2,50	1,00	1,00	0,00	2,50	1,00				0,81	1,81	
5	Estivador eléctrico	1	0	1,20	0,80	0,80	0,96	0,96	0,00	0,77	0,96				0,78	1,74	
6	Operarios	3	0	0,00	0,00	1,75	0,90	1,50	0,00	2,63	0,50				0,41	0,91	
TOTAL								3,46		5,89						AREA	57,37

Tabla 22) Requerimientos espaciales mediante Método de Guerchet (Área Operativa)

FORMULAS MATEMÁTICAS	
$S_s = \text{Largo} \times \text{Ancho} = L \times A$	$\text{Área total} = S_s * n$
$S_g = S_s \times N$	
$S_e = (S_s + S_g)K$	$K = \frac{h_{EM}}{2 \times h_{EF}} = 0.5 \times \frac{h_{EM}}{h_{EF}}$
$h_{EM} = \frac{\sum_{i=1}^r \text{Área}_i \times n \times h}{\sum_{i=1}^r \text{Área}_i \times n}$	h_{EM}: Altura promedio ponderada de los elementos móviles r: variedad de elementos móviles A_i: superficie estática de cada elemento h: altura del elemento móvil n: número de elementos móviles de cada tipo
$h_{EF} = \frac{\sum_{i=1}^t S_s \times n \times h}{\sum_{i=1}^t S_s \times n}$	h_{EF}: Altura promedio ponderada de los elementos fijos o estáticos t: variedad de elementos estáticos S_s: superficie estática de cada elemento h: altura del elemento estático n: número de elementos estáticos de cada tipo
$S_T = S_s + S_g + S_e$	$S_{TOTAL} = S_T * (n)$

Ilustración 14) Formulas de Guerchet

12.1 Análisis de Resultados de Guerchet:

El método de Guerchet demuestran que las propuestas son **espacialmente viables**, debido a que los elementos requieren 57,37 m² y la zona de ensamble dispone de 86,10 m². Por consiguiente, después de instalar las dos mesas y el estante, permanece un área aproximada de 28,73 m².

Este espacio restante puede destinarse a:

- pasillos de circulación
- desplazamiento de los operarios
- movimiento del estivador eléctrico
- abastecimiento de materiales

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.

PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

- ubicación temporal del producto en proceso
- maniobras alrededor de las torres de aire
- rutas de evacuación y acceso
- separación entre puestos de trabajo.

La aplicación del método de **Guerchet** fortalece el análisis porque permite comprobar que las propuestas no solo son funcionales desde el punto de vista del flujo, sino también viable en términos espaciales. El cálculo incluyó dos mesas de trabajo, un estante de herramientas, un gancho móvil, un estibador eléctrico y tres operarios. Como resultado, se determinó una superficie total requerida de **57,37 m²** dentro de una zona de ensamble disponible de **86,10 m²**.

Esto significa que la distribución ocuparía aproximadamente el **66,63 % del área de ensamble** y dejaría libres cerca de **28,73 m²**, equivalentes al **33,37 % del espacio disponible**. El área restante puede destinarse a pasillos, maniobras, abastecimiento, producto en proceso, movimiento del estibador y circulación segura de los operarios. Por tanto, el cálculo demuestra que las propuestas no generan hacinamiento y que existe capacidad suficiente para operar las mesas, el estante y los elementos móviles sin invadir necesariamente las rutas de circulación.

13. Conclusiones.

Conclusiones generales y relevancia del trabajo

El estudio desarrollado en Fuel Control Solutions S. A. S. permitió demostrar que la distribución física del taller de ensamble influye de manera directa en el flujo de materiales, los recorridos de los operarios, los tiempos de transporte, los costos asociados a la mano de obra y las condiciones de seguridad del proceso de fabricación de torres de aire. El diagnóstico inicial evidenció desplazamientos innecesarios, cruces de circulación, dispersión de herramientas, falta de delimitación de áreas y una organización poco coherente con la secuencia real del ensamble. El cursograma analítico permitió convertir estas observaciones en una línea base cuantificable de **370 minutos por torre, 7 minutos de transporte y 15,20 metros recorridos por unidad**.

La aplicación de la metodología **Systematic Layout Planning (SLP)** fue pertinente porque permitió evaluar la distribución del taller a partir de relaciones de cercanía, requerimientos de espacio, flujo de materiales y restricciones físicas. Este enfoque evitó que la redistribución se basara únicamente en criterios visuales y permitió estructurar dos alternativas comparables dentro de los **247,90 m² disponibles**, respetando muros, accesos, oficinas, almacén, rampa, zonas de apoyo y la condición de mantener una única zona de ensamble.

Los análisis matemáticos evidenciaron que ambas propuestas mejoran el método actual. La propuesta 1 reduce la distancia recorrida de 15,20 a 5,00 metros por torre, equivalente a una disminución del **67,11%**, y reduce el tiempo total a 366 minutos. La propuesta 2 disminuye la distancia hasta 4,40 metros, alcanzando una reducción del **71,05%**, y reduce el tiempo total a 365,5 minutos. Desde el punto de vista de costos, la propuesta 2 también presenta el resultado más favorable, con un ahorro estimado "Este documento es propiedad intelectual del POLITÉCNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA".



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

de **\$606,08 COP por torre**, frente a **\$538,76 COP por unidad** en la propuesta 1.

En términos acumulados, la propuesta 2 permitiría, por cada 100 torres producidas, evitar aproximadamente **1.080 metros de recorrido**, recuperar alrededor de **450 minutos**, equivalentes a 7,5 horas de trabajo, y liberar una capacidad económica estimada de **\$60.608,25 COP**. Estos resultados muestran que, aunque la reducción unitaria del tiempo total parece moderada, el impacto acumulado es relevante cuando el proceso se repite de manera continua.

Indicador	Propuesta 1	Propuesta 2
Distancia por torre	5,00 m	4,40 m
Reducción de distancia	67,11 %	71,05 %
Tiempo total	366 min	365,5 min
Tiempo ahorrado	4 min	4,5 min
Ahorro directo por torre	\$538,76	\$606,08
Reducción del costo de transporte	57,14 %	64,29 %
Capacidad diaria teórica	1,639	1,642

Tabla 23) Comparación entre propuesta 1 y 2

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arancibia Temoche, L., & Lucano Cachay, C. L. del M. (2024). Propuesta de mejora mediante la aplicación de Lean Manufacturing para incrementar la productividad en una empresa de fabricación. En 4th LACCEI International Multiconference on Entrepreneurship, Innovation and Regional Development. <https://doi.org/10.18687/LEIRD2024.1.1.881>
- Congreso de Colombia. (2003). Ley 842 de 2003, por la cual se modifica la reglamentación del ejercicio de la ingeniería, de sus profesiones afines y de sus profesiones auxiliares, se adopta el Código de Ética Profesional y se dictan otras disposiciones.
- Congreso de Colombia. (2012). Ley 1581 de 2012, por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales.
- Dulina, L., Gaso, M., Krajcovic, M., & Kanova, S. (2024). Improving material flows in an industrial enterprise: A comprehensive case study analysis. *Machines*, 12(5), 308. <https://doi.org/10.3390/machines12050308>
- Freivalds, A., & Niebel, B. W. (2009). *Niebel's methods, standards, and work design* (12th ed.). McGraw-Hill.
- Fuel Control Solutions S. A. S. (2025). *Nosotros y soluciones para estaciones de servicio*. <https://fuelcontrolsolutions.com/>
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2015). An application of 5S concept to organize the workplace at a scientific instruments manufacturing company. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(1), 73–88. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2013-0047>

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Education.
- Ishikawa, K. (1986). Guide to quality control (2nd rev. ed.). Asian Productivity Organization.
- Ministerio de Salud. (1993). Resolución 8430 de 1993, por la cual se establecen las normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud.
- Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. (1979). Resolución 2400 de 1979, por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.
- Ministerio del Trabajo. (2019). Resolución 0312 de 2019, por la cual se definen los estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- Moatari-Kazerouni, A., Chinniah, Y., & Agard, B. (2015). Integrating occupational health and safety in facility layout planning, part I: Methodology. International Journal of Production Research, 53(11), 3243–3259. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.970712>
- Muther, R., & Hales, L. (2015). Systematic layout planning (4th ed.). Management & Industrial Research Publications.
- Presidencia de la República de Colombia. (2013). Decreto 1377 de 2013, por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 1581 de 2012.
- Presidencia de la República de Colombia. (2026). Decreto 0159 de 2026, por el cual se fija el salario mínimo legal mensual vigente para el año 2026.
- Ramírez Drada, E., Chud Pantoja, V. L., & Orejuela Cabrera, J. P. (2019). Propuesta metodológica multicriterio para la distribución semicontinua de plantas. Suma de Negocios, 10(23), 132–145. <https://doi.org/10.14349/sumneg/2019.V10.N23.A6>

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.



PROCESO: Gestión de Investigación	MANUAL	Código: II-MA-009
SUBPROCESO: Gestión Editorial y Visibilidad de Publicaciones	PLANTILLA PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS	Versión: I

Romero-Parra, J. R., Tataje-Sanchez, F. G., & Meza-Ortiz, R. N. (2024). Application of 5S and standardized work to improve labor productivity: Case of textile SME. En Proceedings of the 22nd LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology.
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2024.1.1.453>

Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2016). Operations management (8th ed.). Pearson.

Suhardi, B., Juwita, E., & Astuti, R. D. (2021). Facility layout redesign using systematic layout planning method in PT Pilar Kekar Plasindo. Journal of Technology and Operations Management, 16(1), 57–68.

Trimble Inc. (2025). SketchUp for Web. <https://www.sketchup.com/en/products/sketchup-for-web>

“Este documento es propiedad intelectual del POLITECNICO GRANCOLOMBIANO, se prohíbe su reproducción total o parcial sin la autorización escrita de la Rectoría. TODO DOCUMENTO IMPRESO O DESCARGADO DEL SISTEMA, ES CONSIDERADO COPIA NO CONTROLADA”.