



Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Químicas

Carrera de Ingeniería Industrial

Influencia de la distribución de planta en la productividad de pequeñas y medianas empresas textiles. Caso de estudio empresa mediana textil

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Industrial

Autor:

Daniel Mateo Crespo Quezada

Director:

Paola Fernanda Vintimilla Álvarez

ORCID: 0000-0002-8194-6054

Cuenca, Ecuador

2023-08-22

Resumen

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo identificar la influencia de la distribución de planta en la productividad de las pymes textiles mediante el uso de indicadores clave de desempeño (KPI's). Para esto, se ha realizado la identificación de KPI's para medir la productividad de empresas textiles tomando en cuenta la distribución de planta; seguido se han medido estos indicadores en una empresa mediana textil de la ciudad de Cuenca, posteriormente se ha realizado una propuesta de distribución de planta simulada en el programa FlexSim; con los resultados de la simulación se han obtenido los KPI's para un estado propuesto. Finalmente, se han comparado estadísticamente los resultados de los indicadores obtenidos en el estado actual y propuesto, obteniendo así los siguientes KPI's con significancia estadística en el estudio: calidad: productos correctos, aumentando al 100%; distancia recorrida por el material, reduciendo de 337 metros a 151,20 metros en el producto más representativo; tiempo total de producción, pasando de un promedio de 1000 minutos a 240 minutos; tiempo de transporte entre actividades, reduciendo de 61,7 segundos a 4,29 segundos en el recorrido más representativo; efectividad de la producción, aumentando la efectividad sobre el 190%; trabajo en proceso, reduciendo de 1419 a 219 piezas en proceso; y utilización del espacio, pasando de 365,04 metros a 289,55 metros utilizados. Los resultados han permitido identificar la influencia de la distribución de planta en la productividad de una pyme textil.

Palabras claves: Distribución de planta, indicadores clave de desempeño, productividad, textil



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

The objective of the present work is to identify the influence of the facility layout on the productivity of textile SMEs through Key Performance Indicators (KPI's). The first step has been the KPI's identification to measure the productivity of textile enterprises considering the facility layout. The indicators have been used to measure the current situation of a textile SMEs in Cuenca. Later, a proposed facility layout has been simulated in the FlexSim program for a propose situation; the same KPI's has been applied. Finally, the results of the indicators obtained in the current and proposed state were statistically compared. The indicators with statistical significance are: quality: good products, increasing to 100%; material travel distance, reducing from 337 meters to 151.20 meters in the most representative product; production lead time, going from an average of 1000 minutes to 240 minutes; duration of travel between activities, reducing from 61.7 seconds to 4, 29 seconds in the most representative route; production effectiveness, increasing effectiveness over 190%; WIP, reducing from 1419 to 219 pieces in process; and space utilization going from 365.04 meters to 289.55 meters used. The results have allowed to identify the influence of the facility layout in the productivity of textile SMEs.

Keywords: Layout, Key Performance Indicators, Productivity, Textile



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenidos

| | |
|---|----|
| 1. Introducción | 7 |
| 2. Marco teórico | 8 |
| 3. Metodología..... | 15 |
| 3.1. Fase 1. Selección de KPI's | 16 |
| 3.2. Fase 2. Recolección de datos | 19 |
| 3.3. Fase 3. Propuesta de simulación | 20 |
| 3.4. Fase 4. Análisis comparativo entre situación actual y propuesta..... | 22 |
| 4. Resultados | 24 |
| 5. Conclusiones | 46 |
| 6. Agradecimientos | 48 |
| 7. Referencias | 49 |
| 8. Anexos | 56 |
| Anexo A. Encuesta realizada en la consulta a expertos | 56 |
| Anexo B. Resultado de la Prueba Exacta de Fisher para validar las opciones de los campos validados. | 65 |
| Anexo C. Tabla de KPI's a utilizar para medir la influencia de la distribución de planta en la productividad de empresas textiles..... | 68 |
| Anexo D. Variables y consideraciones para el levantamiento de datos del estado actual | 72 |
| Anexo E. Resultados del análisis de la varianza (ANOVA) y supuesto de normalidad.... | 75 |
| Anexo F. Resultados de la prueba Kruskal Wallis..... | 77 |
| Anexo G. Video de la simulación realizada | 78 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Esquema metodológico | 15 |
| Figura 2 Selección del número de expertos a consultar..... | 18 |
| Figura 3 Modelo de la distribución de planta simulada en el software FlexSim..... | 27 |
| Figura 4 Gráfica de intervalos del Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos). | 38 |
| Figura 5 Gráfica de intervalos del Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material). | 39 |
| Figura 6 Diagrama de hilos de la situación actual | 40 |
| Figura 7 Diagrama de hilos de la situación propuesta | 41 |
| Figura 8 Gráfica de intervalos del Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción)..... | 42 |
| Figura 9 Gráfica de intervalos del Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades). | 43 |
| Figura 10 Gráfica de intervalos del Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción). | 44 |
| Figura 11 Gráfica de intervalos del Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio) .. | 45 |
| Figura 12 Gráfica de intervalos del Campo 12: WIP (Trabajo en proceso)..... | 46 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Número mínimo y máximo de expertos a consultar..... | 17 |
| Tabla 2 Resultado de la Prueba Exacta de Fisher para validar los campos de la consulta a expertos | 24 |
| Tabla 3 Resultado de la Prueba Exacta de Fisher para validar las opciones de los campos validados..... | 26 |
| Tabla 4 Resultados del Campo1: Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) | 28 |
| Tabla 5 Resultados del Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos)... | 28 |
| Tabla 6 Resultados del Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) | |
| | 29 |
| Tabla 7 Resultados del Campo 5: Material efficiency (Eficiencia del material) | 29 |
| Tabla 8 Resultados del Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción)..... | 30 |
| Tabla 9 Resultados del Campo 8: Process Performance (Rendimiento del Proceso) | 30 |
| Tabla 10 Resultados del Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades)..... | 31 |
| Tabla 11 Resultados del Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción) | |
| | 31 |
| Tabla 12 Resultados del Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio) | 32 |
| Tabla 13 Resultados del Campo 12: WIP (Trabajo en proceso)..... | 32 |
| Tabla 14 Resultados del Campo 13: Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra)..... | 33 |
| Tabla 15 Resultados del Campo 15: Machine utilization (Utilización de las máquinas)..... | 33 |
| Tabla 16 Resultados del Campo 16: Number of operators (Número de operarios) | 34 |
| Tabla 17 Resultados del Campo 17: Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) | 34 |

| | |
|---|----|
| Tabla 18 Resultados del Campo 18: Production capacity (Capacidad de producción)..... | 35 |
| Tabla 19 Resultados del Campo 19: Productivity (Productividad) | 35 |
| Tabla 20 Resultados de significancia estadística de cada campo..... | 36 |

1. Introducción

La productividad es un indicador que ayuda a evaluar la capacidad de una organización para alcanzar sus objetivos (Naranjo & Valle, 2022); este puede ser mejorado mediante la distribución o redistribución de instalaciones buscando la disposición óptima de estaciones de trabajo, máquinas, entre otros aspectos (Kovács, 2019). Para medir el rendimiento y tomar decisiones en una instalación es vital el uso de indicadores clave de desempeño (KPI's) (Lavy et al., 2014). Por esta razón, el presente trabajo de titulación se ha enfocado en medir indicadores clave de desempeño en una situación actual y una propuesta simulada en una mediana empresa textil de la ciudad de Cuenca con el objetivo de conocer la influencia de la distribución de planta en su productividad.

Se ha elegido el sector textil debido a que tanto a nivel mundial como nivel nacional es uno de los más importantes. En el 2021, a nivel mundial, el comercio de bienes manufacturados representó el 68% de las exportaciones teniendo un crecimiento del 22% con respecto al año anterior, de estos el 19.6% corresponde al sector de la ropa y el 7.3% a productos textiles (OMC, 2022).

En el Ecuador, la industria textil es una de las más importantes debido a la cantidad de puestos de trabajo generados y contribución al Producto Interno Bruto (PIB) del país (Mucho Mejor Ecuador, 2021). Para el año 2021, se han registrado 338 empresas de este sector de las cuales el 38% se encuentran en la provincia de Guayas, 33% en Pichincha, 10 % en Azuay, y el restante en otras provincias (CFN, 2022). Según la Asociación de Industrias Textiles del Ecuador (2022) la industria textil y confección es la tercera más grande en el área de la manufactura, aportando más del 7% del PIB Manufacturero nacional y generando 158 mil empleos directos y un sinnúmero de empleos indirectos.

En lo referente al cantón Cuenca, la industria manufacturera es la segunda principal actividad económica según los resultados del Censo Nacional Económico realizado en julio

de 2011 por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), representando el 48.66% de los ingresos anuales percibidos por ventas dentro del cantón (INEC, 2011). Sin embargo, se tiene que tomar en cuenta que la misma involucra a un sinnúmero de operaciones comerciales; dentro de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CIIU 4.0), las relacionadas con el sector textil están divididas en dos grupos: la fabricación de productos textiles y fabricación de prendas de vestir (INEC, 2012). Esta última es la actividad productiva más practicada en el cantón Cuenca, con el porcentaje más alto de establecimientos: 17.64%, y el segundo en personal ocupado: 10.04% (INEC, 2011). Para el año 2020, el cantón ha aportado con el 4.58% del Valor Agregado Bruto (VAB) no petrolero del total nacional, siendo su principal fuente de ingresos la industria manufacturera con un VAB de \$833 978 (Pérez, 2022).

2. Marco teórico

Con la finalidad de tener un mayor conocimiento sobre los temas abarcados dentro del presente trabajo de titulación se ha realizado una revisión bibliográfica que incluye elementos como la distribución de planta, productividad e indicadores clave de desempeño (KPI's) enfocados en la industria textil.

La productividad, de forma general, es una medida para conocer si una empresa, industria, organización o unidad de negocio está utilizando bien sus recursos (Jacobs & Chase, 2010); por esta razón varios autores han abordado este tema en industrias textiles. Por ejemplo, Ramos-Galarza & Acosta-Rodas (2018) han investigado la relación entre el estrés laboral y la productividad en trabajadores textiles, haciendo uso de encuestas y análisis estadístico como la prueba T y ANOVA, comparando las variables de estudio donde han concluido que los niveles de estrés de los trabajadores provocan un impacto negativo en la productividad, especialmente debido a factores organizacionales.

Wagaye & Walle (2019) han estudiado la productividad de la mano de obra y de las máquinas de dos compañías textiles; los indicadores han sido comparados con datos estandarizados expuestos en la Asociación de Investigación y Textiles del Sur de la India para hilanderías (South India Textile and Research Association standard for spinning mills). Los resultados han mostrado que las dos empresas presentan baja productividad en ambos factores analizados.

Ibjújés Villacís & Benavides Pazmiño (2018) han estudiado como el uso de la tecnología se relaciona con la productividad de las pymes textiles del Ecuador; esto se ha realizado mediante un estudio descriptivo de una serie de indicadores y la aplicación del modelo econométrico Solow. La productividad se ve impactada positivamente por nueva maquinaria y tecnología.

Peñaranda (2019), mediante una revisión bibliográfica, ha identificado que la industria textil ecuatoriana a pesar de la importancia histórica y económica ha presentado un bajo nivel de crecimiento el cual es reflejado en su grado de producción; la principal causa está relacionada con problemas productivos estructurales que generan un decrecimiento de productividad y competitividad industrial impidiendo así su crecimiento.

Aguirre (2022), ha realizado una investigación bibliográfica para identificar los factores que inciden en la productividad de las pymes textiles de la ciudad de Cuenca, encontrando 5 factores: gestión por procesos, reducción de tiempos y movimientos, reducción de los desperdicios, mejora continua y gestión del conocimiento. Los cuales deben ser estudiados y abordados para mejorar la productividad, aumentar su competitividad y mejorar el clima laboral de las empresas textiles

La productividad también puede ser mejorada mediante la distribución de planta. Priyanka & Rahul (2020) han mencionado diez principios que se deberían tener en cuenta al momento de realizar una distribución en la pequeña industria si se desea mejorar la

productividad; adicional, exponen sus ventajas y desventajas, así como también los distintos tipos de distribuciones de planta. El artículo ha presentado una descripción general de la mejora de la productividad a través del diseño de la planta en la pequeña industria.

Kovács (2020), mediante la aplicación simultanea de métodos Lean y distribución de instalaciones, propone aumentar la eficiencia, reducir costos y mejorar varios KPI's en una planta manufacturera; el autor ha concluido que la aplicación simultanea de estos dos métodos presenta mayores beneficios que aplicándolos individualmente, además, han contribuido al aumento de la productividad y reducción de costes de fabricación en el caso de estudio.

Naranjo & Valle (2022), mediante una búsqueda bibliográfica, han identificado que los factores de la distribución de planta que afectan a la productividad de las empresas son factor hombre y factor máquina; además, mencionan que una correcta distribución de planta conlleva al aumento de la productividad al agilizar procesos, reducir el tiempo de actividad, y acelerar la producción. Reyes et al. (2021) han analizado la disposición de instalaciones en una empresa de comercialización de neumáticos con la finalidad de optimizar el desarrollo de sus actividades; con lo cual han concluido que optimizando la disposición de los insumos se logra un incremento de la productividad y seguridad de los trabajadores.

La relación entre distribución de planta y productividad del sector textil han sido analizados por algunos autores. Santos et al. (2019) han diseñado una nueva distribución de planta para una empresa textil con análisis de datos mediante métodos cuantitativos; como resultado el diseño en forma de U logra optimizar el espacio disponible, la distancia recorrida por la mercancía, y la reducción en los costos de transporte.

Ruiz et al. (2019) detallan los pasos que deben seguir las pymes en búsqueda de un modelo de distribución de planta eficiente; para poder llegar a determinar el mejor modelo, los autores hacen uso de herramientas de SLP y herramientas de manufactura esbelta con

la finalidad de eliminar desperdicios, aumentar la productividad, satisfacer la demanda, reducir costos y tiempo de ciclo en el proceso de fabricación de mochilas.

Rodrigues et al. (2020) han presentado una propuesta de cambio del diseño de planta para mejorar la productividad mediante la reducción de tiempo de transporte de productos en las áreas de impresión y transporte en una empresa de fabricación de ropa interior para mujer. Se han realizado varias simulaciones, obteniéndose que la mejor distribución es aquella que ha presentado una reducción en el tiempo de transporte y movimiento, mejora en la productividad, la optimización del espacio, entre otros aspectos.

Mailan et al. (2021) han realizado un modelo de mejora del diseño de instalaciones dentro de una empresa textil con la finalidad de mejorar la productividad laboral en la fabricación de prendas. Los investigadores han identificado una serie de factores que afectan a la productividad laboral tales como: tiempo de procesamiento, número de estaciones de trabajo, distancia recorrida, y utilización de recursos; los autores han analizado los factores según diferentes tipos de distribuciones haciendo uso de herramientas de simulación como ProModel. Los resultados han sido comparados en términos de producción total, tiempo de procesamiento promedio, distancia total recorrida por los trabajadores, porcentaje de utilización de las estaciones de trabajo, y mejora de la productividad laboral. Como resultado, el diseño en forma de “J” ha presentado mejores resultados en los factores analizados y en la productividad laboral de la empresa.

Con el fin de evaluar el progreso de una organización y mejorar la calidad en la toma de decisiones es necesario la implementación de indicadores clave de desempeño (KPI's), los cuales son una herramienta o instrumento de gestión que ayudan a controlar el rendimiento de una actividad o proceso (Setiawan & Purba, 2020). Algunos autores han estudiado KPI's relacionados con la productividad. Paduloh & Hardi (2020) han comparado la productividad de la industria de pintura automotriz entre dos períodos establecidos haciendo

uso de diez KPI's que la empresa dispone para medir su rendimiento, concluyendo que la misma no alcanza los objetivos establecidos debido a la baja productividad, por lo cual es necesario estudiar los factores que afectan a la productividad y mejorarlos.

Lavy et al. (2010) han categorizado indicadores clave de desempeño en cuatro categorías principales: financieros, físicos, funcionales y basados en encuestas a clientes; en los indicadores funcionales han incluido tres términos para medir la productividad: índice de rotación de ocupantes, ausentismo y satisfacción de los ocupantes y la productividad autoevaluada; de igual forma proponen indicadores para medir el espacio de utilización: espacios sobreutilizados y subutilizados, adecuación del espacio y la gestión adecuada del espacio.

Khan & Bilal (2019) han realizado una revisión de KPI's de operaciones de planta de fabricación con lo cual han propuesto 21 indicadores con varios elementos detallados que permiten a los fabricantes a describir, analizar, clasificar y seleccionar los indicadores apropiados para su planta con la finalidad de mantener la calidad, mejorar la productividad y el rendimiento.

Dentro de la industria textil también se hace uso de KPI's. Moktadir et al. (2020) han identificado indicadores clave de desempeño para la industria de productos de cuero, los cuales han sido clasificados en seis categorías: gestión, operaciones, calidad, economía, social y ambiental, con un total de 27 KPI's; además, han evaluado estos indicadores en distintas empresas de productos de cuero logrando revelar que los indicadores de gestión reciben mayor prioridad. Mamun et al. (2022) analizan las tendencias del consumo de energía y agua subterránea en fábricas de teñido de textiles haciendo uso de KPI's ambientales como la cantidad de agua subterránea extraída, aguas residuales, agua perdida en el proceso, consumo de energía y CO₂.

Kusrini et al. (2019) han validado 30 KPI's para un almacén de la industria de cuero, los cuales han sido clasificados en tres categorías: económicos, ambientales y sociales, dentro de los cuales destacan la configuración del diseño, tiempo de procesamiento de órdenes, optimización del inventario, trabajo en progreso, entre otros más; además determinan que el factor económico es el dominante según el proceso de jerarquía analítica realizado.

De igual manera, existen KPI's relacionados con la distribución de planta. Gyulai et al. (2016) han propuesto un nuevo método para la disposición óptima de instalaciones mediante el modelo de simulación de eventos discretos y evaluación iterativa de las alternativas simuladas; el estudio se centra en minimizar indicadores clave de desempeño como trabajo en progreso, lead time, transporte, entre otros.

Wanniarachchi et al. (2016) han desarrollado un modelo de disposición de instalaciones para una planta de transformación de leche malteada en polvo. Para evaluar la eficiencia del diseño han utilizado indicadores como distancia recorrida, distancia recorrida por peso, movimiento de mercancías, movimiento de personal, eficiencia energética, eficiencia global de los equipos y generación de residuos. El diseño propuesto ha mejorado la eficiencia de las instalaciones, máquinas y capacidad de funcionamiento.

Quispe-Roncal et al. (2020) han planteado mejoras en el proceso de lavado y teñido mediante el uso de TMP y SLP logrando incrementar la eficiencia productiva, reducir el tiempo de recorrido, entre otros aspectos; los cuales han sido medidos con distintos KPI's como tiempo medio entre fallos, tiempo medio para el fallo, eficiencia global de equipos, productividad en base al esfuerzo y tiempo de traslado.

Brás & Moura (2022) han realizado una redistribución de planta en la industria electrónica considerando varios KPI's del balanceo de líneas y distribución de planta; entre algunos de los indicadores establecidos constan número de estaciones, porcentaje de

eficiencia de la línea, distancia de desplazamiento de trabajadores, entre otros. Con esto los autores lograron encontrar una solución óptima de 8 estaciones de trabajo, con una eficiencia del 79%.

Existen pocos artículos que relacionen la productividad, distribución de planta, y el uso de indicadores clave de desempeño (KPI's) enfocados en la industria textil. Por ejemplo, Palango et al. (2022), mediante una revisión bibliográfica han identificado los indicadores y variables más comúnmente utilizadas dentro del sector textil en términos de resiliencia empresarial y facility layout planing (FLP); además, han concluido que los estudios relacionados con indicadores dentro de la industria textil se enfocan en aspectos como el comercial, material o financiero, dejando de lado otros aspectos importantes para las empresas como el laboral y la resiliencia. En cuanto al FLP, han evidenciado el uso de indicadores que miden el desempeño de factores como: flujo del material, tiempos de tránsito, distancia recorrida, utilización de máquinas o geometría de la identificación. Finalmente, los autores han propuesto un grupo de indicadores para el diseño de instalaciones considerando un enfoque resiliente, los mismos que se basan en siete factores principales: material, maquinaria, espera, servicio, instalaciones, cambio y recurso humano.

De toda la bibliografía expuesta anteriormente, la misma que se ha concentrado en estudios de los últimos 15 años y segmentada mediante una cadena de búsqueda que ha incluido palabras clave como: distribución de planta, productividad, industria textil e indicadores clave de desempeño, no se ha encontrado estudios específicos en las bases bibliográficas como Scopus, Science Direct, Taylor & Francis, Scielo, Funding Institutional, entre otras, que analicen como la distribución de planta afecta a la productividad de las empresas textiles mediante el uso de los indicadores clave de desempeño (KPI's), lo cual motiva el objeto de estudio del presente trabajo.

3. Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo de titulación se ha realizado una investigación mixta que consta de cuatro fases de ejecución que se visualizan en la Figura 1. En la primera fase se ha realizado una investigación cualitativa mediante la búsqueda bibliográfica de factores con mayor influencia de la distribución de planta en la productividad de pymes textiles, para posteriormente validar los KPI's a utilizar aplicando consulta a expertos.

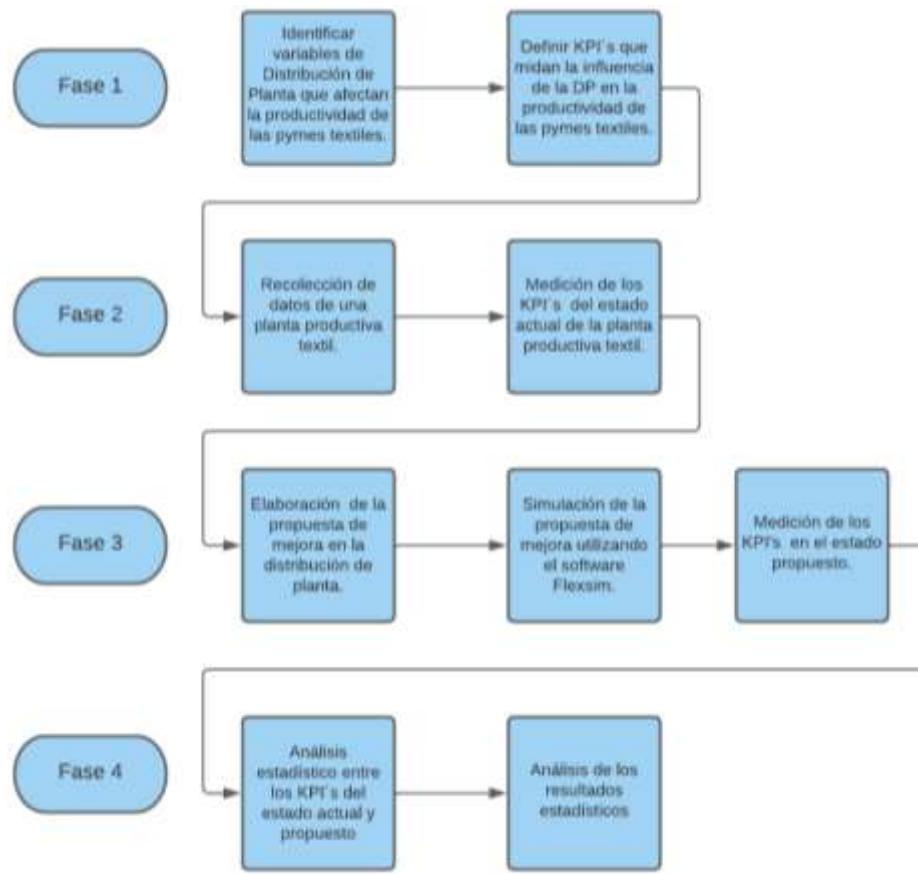
En la segunda fase se ha ejecutado una investigación cuantitativa con el levantamiento de datos de una planta productiva textil mediana de la ciudad de Cuenca. Los datos obtenidos han sido utilizados para establecer los valores de los KPI's del estado actual de la empresa.

En la tercera fase, los resultados de la simulación de la distribución de planta propuesta para la empresa han sido utilizados para calcular los KPI's que se han obtenido en el ambiente simulado, los mismos que corresponden al estado propuesto.

Finalmente, en la cuarta fase, se han comparado los resultados obtenidos del estado actual y propuesto para determinar la influencia de la distribución de planta en la productividad de pymes textiles a través del análisis estadístico de los KPI's.

Figura 1

Esquema metodológico



3.1.Fase 1. Selección de KPI's

En esta fase se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica para identificar KPI's que abarquen los términos de productividad, industria textil y distribución en planta de los últimos 15 años; esta revisión se ha realizado en distintas bases bibliográficas como: Science Direct, Taylor & Francis, Scielo, Funding Institutional, entre otras. A partir de esta investigación, se ha elaborado una lista de indicadores de cada término, excluyendo aquellos relacionados con aspectos económicos, sociales y ambientales. Una vez obtenida la lista de KPI's, se ha logrado identificar 22 campos que engloban a los indicadores más relevantes de los temas investigados.

Para validar se ha realizado una consulta a expertos, dentro de la cual se ha elaborado una encuesta que contiene los 22 campos identificados con sus respectivas opciones identificadas en la búsqueda bibliográfica. El cuestionario aplicado se muestra en el Anexo A.

Los expertos validaron los campos y opciones de KPI's más adecuados para medir la influencia de la distribución de planta en la productividad de empresas textiles.

La determinación del número de personas a consultar ha sido establecida con base a bibliografía revisada. En la Tabla 1 se detalla los artículos con el número mínimo y máximo de expertos. Se ha definido que el grupo óptimo se encuentra entre 10 y 15 personas, como se aprecia en la Figura 2. Finalmente, la validación se ha llevado a cabo con 12 expertos, quienes abarcan diversas áreas de conocimiento y experiencia. Entre ellos se han encontrado docentes de la carrera de Ingeniería Industrial, profesionales que trabajan en empresas textiles y expertos de una empresa de consultoría.

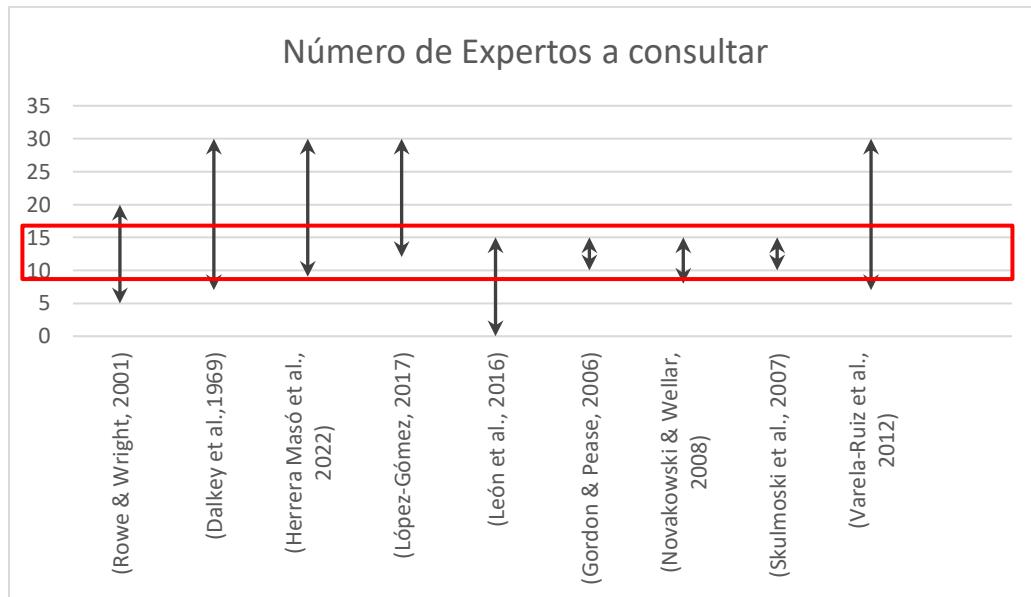
Tabla 1

Número mínimo y máximo de expertos a consultar.

| Nº min de expertos | Nº máx. de expertos | Referencia |
|--------------------|---------------------|-----------------------------|
| 5 | 20 | (Rowe & Wright, 2001) |
| 7 | 30 | (Dalkey et al., 1969) |
| 9 | 30 | (Herrera Masó et al., 2022) |
| 12 | | (López-Gómez, 2017) |
| 7 | 15 | (León et al., 2016) |
| 10 | 15 | (Gordon & Pease, 2006) |
| 8 | 12 | (Novakowski & Wellar, 2008) |
| 10 | 15 | (Skulmoski et al., 2007) |
| 7 | 30 | (Varela-Ruiz et al., 2012) |

Figura 2

Selección del número de expertos a consultar.



Para validar la aceptación de los distintos campos y opciones incluidas dentro de la encuesta a expertos se ha realizado la prueba exacta de Fisher. Para identificar los campos con mayor significancia haciendo uso de la herramienta ha sido necesario plantearse una hipótesis nula y una alternativa, donde:

H₀: No hay diferencia significativa entre la proporción de expertos que consideran que el Campo es válido y la proporción que considera que no lo es.

H₁: La proporción de expertos que consideran que el Campo es válido es significativamente mayor que la proporción que considera que no lo es.

Estas hipótesis se han planteado para cada uno de los 22 campos. La prueba exacta de Fisher ha sido aplicada con un nivel de significancia del 95%, el cual tiene un valor crítico $Z = 1.96$, debido a que es un análisis de dos colas. Si el valor Z calculado para cada campo es mayor al valor Z del nivel de significancia se rechaza la hipótesis nula, es decir, existe suficiente evidencia estadística para decir que la proporción de expertos que considera que

el campo es válido es significativamente mayor a la proporción de expertos que consideran que no lo es.

Dentro de los campos que han sido aceptados estadísticamente, se ha aplicado una nueva prueba exacta de Fisher para cada una de las opciones. En los campos que se han presentado más de una opción aceptada estadísticamente se ha seleccionado la que posee mayor significancia. Las hipótesis se muestran a continuación y los resultados obtenidos en el Anexo B.

Ho: No hay diferencia significativa entre la proporción de expertos que consideran que la opción de KPI es válido y la proporción que considera que no lo es.

H1: La proporción de expertos que consideran que la opción de KPI es válido es significativamente mayor que la proporción que considera que no lo es.

Finalmente, en el Anexo C se presenta la lista final de KPI's con su correspondiente formulación y referencia para uso de este estudio de validación.

3.2.Fase 2. Recolección de datos

La línea productiva de una empresa textil mediana de la ciudad de Cuenca ha sido seleccionada como caso de estudio para el levantamiento de información y aplicación de KPI's. Se han codificado los distintos productos fabricados con la etiqueta tipo, por ejemplo: tipo 1, tipo 2, hasta tipo 7; también se ha codificado el accesorio de cada producto como accesorio 1 y 2, según corresponda.

La información requerida para obtener los KPI's del estado actual ha sido levantada en la empresa en mención en un periodo establecido de una semana. El detalle de variables y consideraciones para cada indicador se evidencian en el Anexo D. Para la obtención del campo 18 se ha establecido porcentajes de suplemento según cada actividad realizada.

Finalmente, se han calculado cada uno de los KPI's para obtener los resultados del estado actual de la empresa.

3.3.Fase 3. Propuesta de simulación

Para el desarrollo de la fase 3 ha sido necesario la elaboración de una propuesta de distribución de planta, la misma que ha tomado en cuenta mejoras en el flujo de los materiales y localización de maquinaria y equipo.

La propuesta elaborada ha unificado las dos bodegas de materia prima anteriormente disponibles en una sola y de igual manera con las bodegas de producto terminado. Las mismas han sido reubicadas de forma que el flujo del material sea en forma "U". Además, ha sido necesario la ubicación de muelles de descarga de materia prima y carga de producto terminado.

El diseño de la propuesta de distribución de planta se ha elaborado en el programa AutoCAD, donde se ha obtenido los nuevos valores de los KPI's como distancia recorrida del material y utilización del espacio.

Para la simulación de la propuesta se ha modelado las distintas máquinas y estaciones de trabajo en el programa SketchUp tomando en cuenta las medidas de cada ítem, para posteriormente importar cada uno en el programa FlexSim, el cual ha servido para la simulación de la distribución de planta propuesta.

Para realizar la simulación ha sido necesario identificar las distribuciones estadísticas que más se ajustan a cada una de las actividades, para esto se ha realizado al menos diez mediciones de tiempos de cada una de las actividades del proceso. Se ha hecho uso del software Stat::Fit de ProModel, el cual es utilizado para encontrar la mejor distribución que se ajusta a un grupo de datos. En el cálculo de las distribuciones se ha

realizado la unión de algunas actividades, con la finalidad de facilitar la parametrización de los objetos dentro de la simulación.

Dentro del modelo de simulación se ha importado el plano de la propuesta de distribución de planta realizado en AutoCAD; seguido, se han colocado las distintas máquinas en su respectivo lugar y se asignaron los modelos realizados anteriormente. Se han añadido ítems como: operarios, según el Campo 16: Number of operators (Número de operarios), por cada actividad; queues o esperas en la entrada y salida de cada una de las actividades, un source como el recurso de entrada de material y un sink que representa la salida de productos. Finalmente, se han unido todos los ítems según el proceso productivo del caso de estudio.

En la parametrización de las máquinas del modelo se ha tomado en cuenta la actividad realizada por cada una y se han asignado los tiempos de procesamiento correspondientes en función del tipo de producto o accesorio que se maneja en cada estación de trabajo. Estos tiempos de procesamiento se basan en las distribuciones estadísticas previamente calculadas. Además, se han asignado uno o dos operarios para cada una de las máquinas según la actividad realizada. En el caso de algunos operarios ha sido necesario la utilización de un dispatcher para poder dividir las tareas de transporte y procesamiento según su prioridad. Una vez terminado el modelo de simulación se ha asignado la orden de producción planificada por cada uno de los 7 días estudiados, sin embargo, para el día 5 no se dispone de esta información por lo cual no ha sido considerado en el escenario propuesto. Finalmente, se han realizado tablas y gráficos para la recolección de datos para posteriormente medir los KPI's de la propuesta. Se debe considerar que el Campo 5: Material efficiency (Eficiencia del material) no ha podido ser simulado.

3.4.Fase 4. Análisis comparativo entre situación actual y propuesta

El método para el análisis estadístico de cada KPI entre la situación actual y propuesta se ha realizado con dos tipos de prueba: análisis de la varianza (ANOVA) o la prueba de Kruskal Wallis; las mismas que han ayudado a identificar si existe o no una diferencia significativa entre el estado actual y propuesto del indicador analizado.

En esta fase no se han analizado los campos 5, 16 y 17, debido a que el Campo 5: Material efficiency (Eficiencia del material) no posee datos de la situación propuesta; mientras que, los campos: Campo 16: Number of operators (Número de operarios) y Campo 17: Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) se han mantenido iguales en el estado actual y propuesto.

Como primer paso se ha realizado el análisis de la varianza (ANOVA), con un nivel de significancia del 95%, para cada uno de los campos en el programa Minitab. Para este análisis ha sido necesario plantearse las siguientes hipótesis para todos los campos, excepto el campo 11:

H₀: No hay diferencia significativa entre las medias de los valores actuales y propuestos del Campo

H₁: Existe una diferencia significativa entre las medias de los valores actuales y propuestos del Campo

Para validar el análisis realizado se ha aplicado la prueba de Shapiro-Wilk, que se utiliza para muestras menores a 50 datos, para comprobar el supuesto de normalidad haciendo uso de los residuos del ANOVA. Si el p valor del supuesto de normalidad es superior al nivel de significancia del 0.05 la prueba es válida; si es menor la prueba estadística no es válida y se debe aplicar la prueba de Kruskal Wallis, la cual se utiliza

cuando no se cumple el supuesto de normalidad. Los resultados del análisis de la varianza se observan en el Anexo E.

Por esta razón se ha tomado la prueba de Kruskal Wallis, para los campos que no cumplen con el supuesto de normalidad en la prueba ANOVA. Ha sido necesario realizar nuevas hipótesis que se muestran a continuación y los resultados obtenidos de la prueba en el Anexo F.

H₀: No hay diferencia significativa entre las medianas de los valores actuales y propuestos del Campo

H₁: Existe una diferencia significativa entre las medianas de los valores actuales y propuestos del Campo

Para el campo Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio) se ha realizado la prueba t pareada con un nivel de significancia del 95%, debido a que a cada una de las secciones se ha medido dos veces, es decir, en el estado actual y propuesto. En esta prueba se han utilizado las siguientes hipótesis:

H₀: No hay diferencia significativa entre el espacio ocupado antes y después de la distribución de planta propuesta

H₁: Existe una diferencia significativa entre el espacio ocupado antes y después de la distribución de planta porpuesta

Teniendo como resultado un p valor de 0.018, el cual es menor al p valor del nivel de significancia de 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se puede decir que si existe una diferencia significativa entre el espacio actual y propuesto.

Finalmente, en los campos que han presentado una significancia estadística, se ha elaborado una gráfica de intervalos para identificar en que situación se presenta esta significancia.

4. Resultados

Los resultados del presente trabajo se detallan a continuación.

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la Prueba exacta de Fisher, que se ha realizado para validar cada uno de los 22 campos que se han planteado en la consulta a expertos. Se puede observar solo 16 han sido validados, los mismos que han sido utilizados en el caso de estudio.

Tabla 2

Resultado de la Prueba Exacta de Fisher para validar los campos de la consulta a expertos

| | Campo | Valor Z | Se rechaza Ho | No se rechaza Ho |
|---|---|---------|---------------|------------------|
| 1 | Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) | 4,082 | X | |
| 2 | Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) | 2,449 | X | |
| 3 | Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) | 4,898 | X | |
| 4 | Machine availability (Disponibilidad de las máquinas) | 1,632 | | X |
| 5 | Material efficiency (Eficiencia del material) | 2,449 | X | |
| 6 | Percentage of defective products (Porcentaje de productos defectuosos en el proceso productivo) | 1,632 | | X |
| 7 | Production Lead time (Tiempo Total de Producción) | 4,082 | X | |

| | | | |
|----|--|-------|---|
| | Process Performance (Rendimiento del Proceso) | 4,082 | X |
| 8 | Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) | 4,898 | X |
| 9 | Production effectiveness (Efectividad de la producción) | 3,265 | X |
| 10 | Space utilization (Utilización del espacio) | 4,898 | X |
| 11 | WIP (Trabajo en proceso) | 4,082 | X |
| 12 | Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) | 3,265 | X |
| 13 | Defective goods returned by clients (Productos defectuosos devueltos por clientes) | 0,816 | X |
| 14 | Machine utilization (Utilización de las máquinas) | 3,265 | X |
| 15 | Number of operators (Número de operarios) | 3,265 | X |
| 16 | Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) | 4,082 | X |
| 17 | Production capacity (Capacidad de producción) | 4,082 | X |
| 18 | Productivity (Productividad) | 4,082 | X |
| 19 | Scrap quantity (Cantidad de Desperdicio) | 1,632 | X |
| 20 | Machine performance (Rendimiento de la maquinaria) | 1,336 | X |
| 21 | Rate of non-compliance (Tasa de incumplimiento) | 0 | X |

De igual manera, se ha realizado la Prueba exacta de Fisher para validar cada una de las opciones que se encuentran dentro de cada campo validado, el resultado de todas las opciones se muestra en el Anexo B. Dentro de esta validación se han seleccionado las opciones que poseen una mayor significancia las mismas que se muestran en la Tabla 3. En el Anexo C se muestra los campos y opciones validadas con su respectiva formula y referencia, las mismas que se han aplicado en el caso de estudio.

Tabla 3

Resultado de la Prueba Exacta de Fisher para validar las opciones de los campos validados.

| Campo | Opción seleccionada | Valor Z |
|---|---------------------|------------|
| Campo1: Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) | Opción 1 | 2,48806676 |
| Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) | Opción 2 | 2,5437351 |
| Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) | Opción 2 | 2,96897538 |
| Campo 5: Material efficiency (Eficiencia del material) | Opción 2 | 2,26778684 |
| Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción) | Opción 2 | 3,14362099 |
| Campo 8: Process Performance (Rendimiento del Proceso) | Opción 1 | 2,5437351 |
| Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) | Opción 2 | 3,34664011 |
| Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción) | Opción 2 | 3,28165062 |
| Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio) | Opción 3 | 3,82426464 |
| Campo 12: WIP (Trabajo en proceso) | Opción 1 | 2,79284801 |
| Campo 13: Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) | Opción 3 | 3,29140294 |
| Campo 15: Machine utilization (Utilización de las máquinas) | Opción 1 | 2,5819889 |
| Campo 16: Number of operators (Número de operarios) | Opción 2 | 2,92770022 |

| | | |
|--|----------|------------|
| Campo 17: Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) | Opción 1 | 3,65148372 |
| Campo 18: Production capacity (Capacidad de producción) | Opción 2 | 3,46410162 |
| Campo 19: Productivity (Productividad) | Opción 1 | 3,90266181 |

La Figura 3 muestra el modelo elaborado para simular la distribución de planta propuesta, el mismo que se encuentra parametrizado de acuerdo a los datos recolectados del caso de estudio. Además, en el Anexo G se muestra un video de la simulación realizada.

Figura 3

Modelo de la distribución de planta simulada en el software FlexSim



En las siguientes Tablas se muestran los resultados obtenidos de cada uno de los campos validados en el estado actual y propuesto. El Campo 5: Material efficiency (Eficiencia del material) no posee resultados en la situación propuesta debido a que no ha sido posible simularlo en el programa FlexSim.

Tabla 4

Resultados del Campo 1: Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos)

| Campo1: Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) | | | |
|--|-------------|----------------|-------------------|
| Día | Acolchadora | OEE Actual (%) | OEE Propuesto (%) |
| Día 1 | Horizontal | 55,32% | 61,09% |
| Día 1 | Vertical 1 | 34,46% | 36,91% |
| Día 1 | Vertical 2 | 0,00% | 36,63% |
| Día 2 | Horizontal | 58,07% | 68,62% |
| Día 2 | Vertical 1 | 42,69% | 25,04% |
| Día 2 | Vertical 2 | 0,00% | 25,62% |
| Día 3 | Horizontal | 47,52% | 75,87% |
| Día 3 | Vertical 1 | 44,96% | 24,00% |
| Día 3 | Vertical 2 | 43,11% | 24,64% |
| Día 4 | Horizontal | 60,95% | 38,32% |
| Día 4 | Vertical 1 | 8,41% | 23,24% |
| Día 4 | Vertical 2 | 5,62% | 23,65% |
| Día 5 | Horizontal | 40,03% | 0,00% |
| Día 5 | Vertical 1 | 0,00% | 0,00% |
| Día 5 | Vertical 2 | 0,00% | 0,00% |
| Día 6 | Horizontal | 56,75% | 52,46% |
| Día 6 | Vertical 1 | 38,64% | 34,07% |
| Día 6 | Vertical 2 | 5,62% | 32,25% |
| Día 7 | Horizontal | 53,91% | 82,17% |
| Día 7 | Vertical 1 | 49,25% | 20,94% |
| Día 7 | Vertical 2 | 19,85% | 20,87% |

Tabla 5

Resultados del Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos)

| Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) | | |
|--|------------------------------|---------------------------------|
| Día | % Productos correctos Actual | % Productos correctos Propuesto |
| Día 1 | 99,62% | 100,00% |
| Día 2 | 99,58% | 100,00% |
| Día 3 | 99,70% | 100,00% |
| Día 4 | 100,00% | 100,00% |
| Día 5 | 100,00% | 0,00% |
| Día 6 | 98,86% | 100,00% |
| Día 7 | 99,57% | 100,00% |

Tabla 6*Resultados del Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material)*

| Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) | | |
|--|-----------------------------------|--------------------------------------|
| Producto | Total recorrido Actual (m) | Total recorrido Propuesto (m) |
| Accesorio 2 | 337 | 151,1997 |
| Accesorio 1 | 236,5787 | 149,5555 |
| Tipo 6, 7 | 288,9918 | 160,5431 |
| Tipo 6, 7 | 288,9371 | 158,4514 |
| Tipo 1,2,3,4,5 | 270,3044 | 168,6378 |

Tabla 7*Resultados del Campo 5: Material efficiency (Eficiencia del material)*

| Campo 5: Material efficiency (Eficiencia del material) | | |
|---|---|--|
| Día | Eficiencia del material Actual (%) | Eficiencia del material Propuesto (%) |
| Día 1 | 96,31% | - |
| Día 2 | 95,74% | - |
| Día 3 | 96,67% | - |
| Día 4 | 96,73% | - |
| Día 5 | 95,99% | - |
| Día 6 | 94,77% | - |
| Día 7 | 96,31% | - |

Tabla 8

Resultados del Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción)

| Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción) | | |
|---|--|---|
| Producto | Production Lead time Actual (min) | Production Lead time Propuesto (min) |
| Tipo 1 | 1150 | 247 |
| Tipo 2 | 1260 | 192 |
| Tipo 3 | 940 | 128 |
| Tipo 4 | 1040 | 219 |
| Tipo 5 | 820 | 225 |
| Tipo 6 | 1065 | 411 |
| Tipo 7 | 745 | 280 |

Tabla 9

Resultados del Campo 8: Process Performance (Rendimiento del Proceso)

| Campo 8: Process Performance (Rendimiento del Proceso) | | |
|---|---|--|
| Producto | Rendimiento del proceso actual (s/ estación) | Rendimiento del proceso propuesto (s/ estación) |
| Tipo 1 | 4,321 | 4,245 |
| Tipo 2 | 4,7 | 4,209 |
| Tipo 3 | 4,414 | 3,781 |
| Tipo 4 | 4,804 | 3,604 |
| Tipo 5 | 4,67 | 3,997 |
| Tipo 6 | 2,281 | 2,581 |
| Tipo 6 | 2,27 | 2,56 |
| Tipo 7 | 2,281 | 2,414 |
| Tipo 7 | 2,27 | 2,397 |

Tabla 10

Resultados del Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades)

| Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) | | |
|--|-------------------|----------------------|
| Recorrido | Actual (s) | Propuesto (s) |
| Recorrido 1 | 68,86 | 11,79 |
| Recorrido 2 | 6,92 | 3,65 |
| Recorrido 3 | 6,92 | 6,43 |
| Recorrido 4 | 4,54 | 0,96 |
| Recorrido 5 | 8,68 | 3,8 |
| Recorrido 6 | 15,64 | 3,72 |
| Recorrido 7 | 19,63 | 4,52 |
| Recorrido 8 | 10,3 | 3,98 |
| Recorrido 9 | 5,02 | 2,28 |
| Recorrido 10 | 4,76 | 2,28 |
| Recorrido 11 | 5,08 | 0,86 |
| Recorrido 12 | 44,84 | 7,97 |
| Recorrido 13 | 61,7 | 4,29 |

Tabla 11

Resultados del Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción)

| Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción) | | |
|--|--|---|
| Producto | Efectividad de la producción Actual (%) | Efectividad de la producción Propuesto (%) |
| Tipo 1 | 70,05% | 218,52% |
| Tipo 2 | 52,38% | 372,04% |
| Tipo 3 | 76,62% | 301,22% |
| Tipo 4 | 72,98% | 337,30% |
| Tipo 5 | 88,42% | 214,35% |
| Tipo 6 | 73,85% | 258,88% |
| Tipo 7 | 98,43% | 198,77% |

Tabla 12*Resultados del Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio)*

| Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio) | | |
|--|--|---|
| Sección | Área ocupada Actual (m²) | Área ocupada Propuesta (m²) |
| Corte | 56,3974 | 50,1197 |
| Confección | 30,3311 | 29,2467 |
| Plumadora | 43,1849 | 37,0992 |
| Acolchadora Horizontal | 67,3664 | 45,2475 |
| Acolchadoras Verticales | 66,4578 | 57,7004 |
| Cierre | 24,0389 | 15,9356 |
| Cojines | 15,6576 | 15,5549 |
| Revisión y Empaque | 61,607 | 38,6377 |
| Total | 365,0411 | 289,5417 |

Tabla 13*Resultados del Campo 12: WIP (Trabajo en proceso)*

| Campo 12: WIP (Trabajo en proceso) | | |
|---|-------------------|----------------------|
| Producto | WIP Actual | WIP Propuesto |
| Tipo 1 | 170 | 0 |
| Tipo 2 | 36 | 31 |
| Tipo 3 | 30 | 0 |
| Tipo 4 | 0 | 0 |
| Tipo 5 | 109 | 0 |
| Tipo 6 | 529 | 0 |
| Tipo 7 | 82 | 32 |
| Accesorio 2 (Tipo 6) | 143 | 0 |
| Accesorio 2 (Tipo 7) | 320 | 98 |
| Accesorio 1 (Tipo 2) | 0 | 58 |
| Total | 1419 | 219 |

Tabla 14*Resultados del Campo 13: Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra)*

| Campo 13: Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) | | |
|--|--|---|
| Operario | Eficiencia de Mano de obra Actual | Eficiencia de Mano de obra Propuesto |
| Operario 1 | 95,75% | 96,41% |
| Operario 2 | 93,35% | 95,30% |
| Operario 3 | 95,00% | 96,24% |
| Operario 4 | 95,09% | 96,67% |
| Operario 5 | 84,15% | 88,39% |
| Operario 6 | 87,11% | 90,15% |
| Operario 7 | 91,70% | 78,76% |

Tabla 15*Resultados del Campo 15: Machine utilization (Utilización de las máquinas)*

| Campo 15: Machine utilization (Utilización de las máquinas) | | | | | | |
|--|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|
| Día | Acolchadora Horizontal | | Acolchadora Vertical 1 | | Acolchadora Vertical 2 | |
| | Actual | Propuesto | Actual | Propuesto | Actual | Propuesto |
| Día 1 | 64,53% | 66,63% | 84,45% | 71,19% | 0,00% | 71,04% |
| Día 2 | 63,19% | 90,01% | 78,70% | 74,64% | 0,00% | 76,26% |
| Día 3 | 61,14% | 89,16% | 78,70% | 71,77% | 69,48% | 71,46% |
| Día 4 | 64,46% | 81,65% | 84,45% | 72,14% | 85,89% | 71,07% |
| Día 5 | 62,08% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| Día 6 | 63,59% | 88,18% | 81,92% | 73,87% | 85,89% | 71,02% |
| Día 7 | 54,36% | 88,97% | 78,70% | 77,65% | 69,48% | 75,36% |

Tabla 16*Resultados del Campo 16: Number of operators (Número de operarios)*

| Campo 16: Number of operators (Número de operarios) | |
|--|---|
| Actividad | Nº de Operarios Actual y Propuesto |
| Corte | 2 |
| Confección | 5 |
| Plumadora | 2 |
| Acolchadora Horizontal | 1 |
| Acolchadora Vertical 1 | 1 |
| Acolchadora Vertical 2 | 1 |
| Cierre | 2 |
| Cojines | 2 |
| Inspección y empaque | 2 |
| TOTAL | 18 |

Tabla 17*Resultados del Campo 17: Number of workstations (Número de estaciones de trabajo)*

| Campo 17: Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) | |
|---|------------------------------------|
| Estación | Cantidad Actual y Propuesta |
| Mesa de Corte | 1 |
| Rectas de costura | 8 |
| Máquina Plumadora | 1 |
| Máquinas Acolchadoras | 3 |
| Mesa de embutido | 1 |
| Mesa de revisión y empaque | 1 |
| Total | 15 |

Tabla 18

Resultados del Campo 18: Production capacity (Capacidad de producción)

| Campo 18: Production capacity (Capacidad de producción) | | |
|--|---|--|
| Producto | Capacidad de Producción Actual (productos) | Capacidad de Producción Propuesto (productos) |
| Tipo 1, 2, 3, 4, 5 | 266,435 | 245,436 |
| Tipo 6, 7 | 508,783 | 642,366 |
| Mix | 387,609 | 443,901 |

Tabla 19

Resultados del Campo 19: Productivity (Productividad)

| Campo 19: Productivity (Productividad) | | | |
|---|----------------|--|---|
| Día | Sección | Productividad Actual (productos/hora) | Productividad Propuesto (productos/hora) |
| Día 1 | Corte | 52,73 | 48,18 |
| Día 2 | Corte | 56,36 | 41,45 |
| Día 3 | Corte | 31,45 | 39,18 |
| Día 4 | Corte | 32,55 | 36,36 |
| Día 5 | Corte | 58,13 | 0 |
| Día 6 | Corte | 37,64 | 50,27 |
| Día 7 | Corte | 24,64 | 43,18 |
| Día 1 | Acolchado | 28,27 | 48,18 |
| Día 2 | Acolchado | 40 | 37,73 |
| Día 3 | Acolchado | 60,45 | 39,18 |
| Día 4 | Acolchado | 22,36 | 36,36 |
| Día 5 | Acolchado | 15,5 | 0 |
| Día 6 | Acolchado | 32,91 | 49,73 |
| Día 7 | Acolchado | 57,82 | 39,18 |
| Día 1 | Terminado | 24 | 27,27 |
| Día 2 | Terminado | 43,64 | 32,18 |
| Día 3 | Terminado | 61,36 | 36,64 |
| Día 4 | Terminado | 23,64 | 36,36 |
| Día 5 | Terminado | 10 | 0 |
| Día 6 | Terminado | 16 | 40 |
| Día 7 | Terminado | 63,64 | 26,64 |

En la Tabla 20 se muestran los resultados del análisis estadístico realizado con los resultados de los indicadores del estado actual y propuesto expuestos anteriormente. En esta tabla se puede identificar los campos que han presentado una diferencia significativa entre los resultados del estado actual y propuesto.

Tabla 20

Resultados de significancia estadística de cada campo

| Campo | No hay diferencia significativa | Si hay diferencia significativa |
|---|------------------------------------|------------------------------------|
| Campo1: Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) | X | |
| Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) | | X |
| Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) | | X |
| Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción) | | X |
| Campo 8: Process Performance (Rendimiento del Proceso) | X | |
| Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) | | X |
| Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción) | | X |
| Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio) | | X |
| Campo 12: WIP (Trabajo en proceso) | | X |

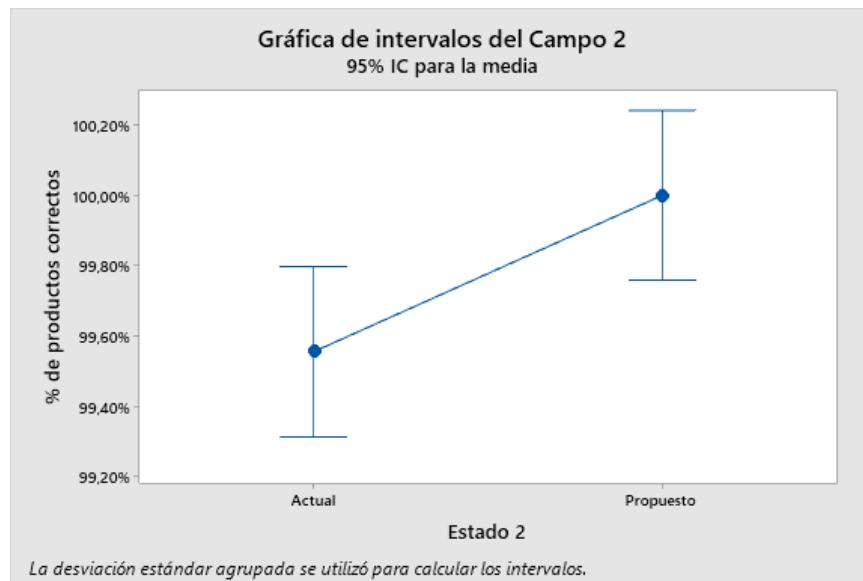
| | |
|---|---|
| Campo 13: Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) | X |
| Campo 15: Machine utilization (Utilización de las máquinas) | X |
| Campo 18: Production capacity (Capacidad de producción) | X |
| Campo 19: Productivity (Productividad) | X |

Los campos que han presentado una diferencia significativa son: 2, 3, 7, 9, 10, 11 y 12. Se ha podido identificar que los campos que si presentan una diferencia significativa se encuentran directamente relacionados con la distribución de planta. En estos campos se ha realizado una gráfica de intervalos para identificar en qué situación se han obtenido mejores resultados.

El Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) ha presentado una diferencia significativa. En la Figura 4 se puede observar que el mejor escenario es el propuesto, puesto que posee una media superior en cuanto al número de productos correctos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el límite superior del estado actual y el límite inferior del estado propuesto se encuentran dentro del mismo rango, lo cual nos indica que los valores en estas secciones son similares.

Figura 4

Gráfica de intervalos del Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos).



En la Figura 5 se observa la diferencia que existe entre los valores medios del estado actual y propuesto para el Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material), en esta se ha identificado que el estado propuesto posee una menor distancia recorrida por el material. Este indicador también puede ser comparado mediante el diagrama de hilos de la situación actual, Figura 6, y el de la situación propuesta, Figura 7. En estos se muestra como en la distribución de planta propuesta existe una menor distancia recorrida y un mejor flujo de los materiales.

Figura 5

Gráfica de intervalos del Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material).

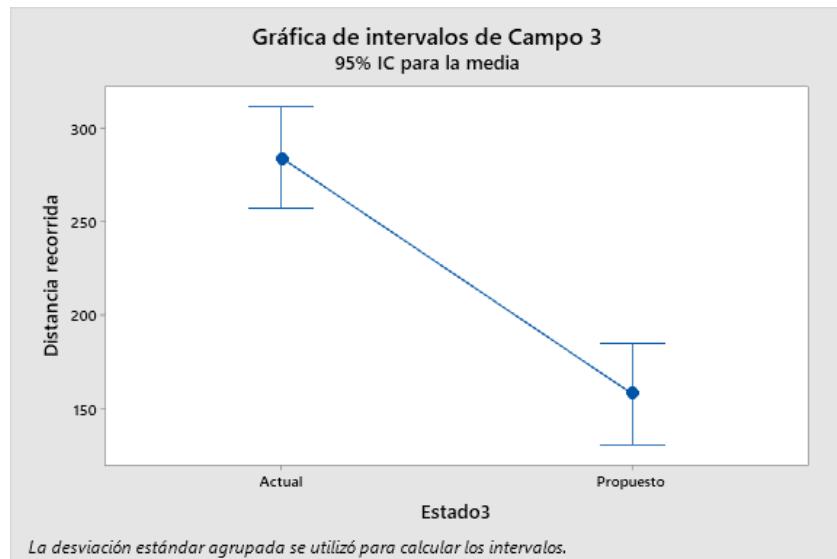


Figura 6

Diagrama de hilos de la situación actual

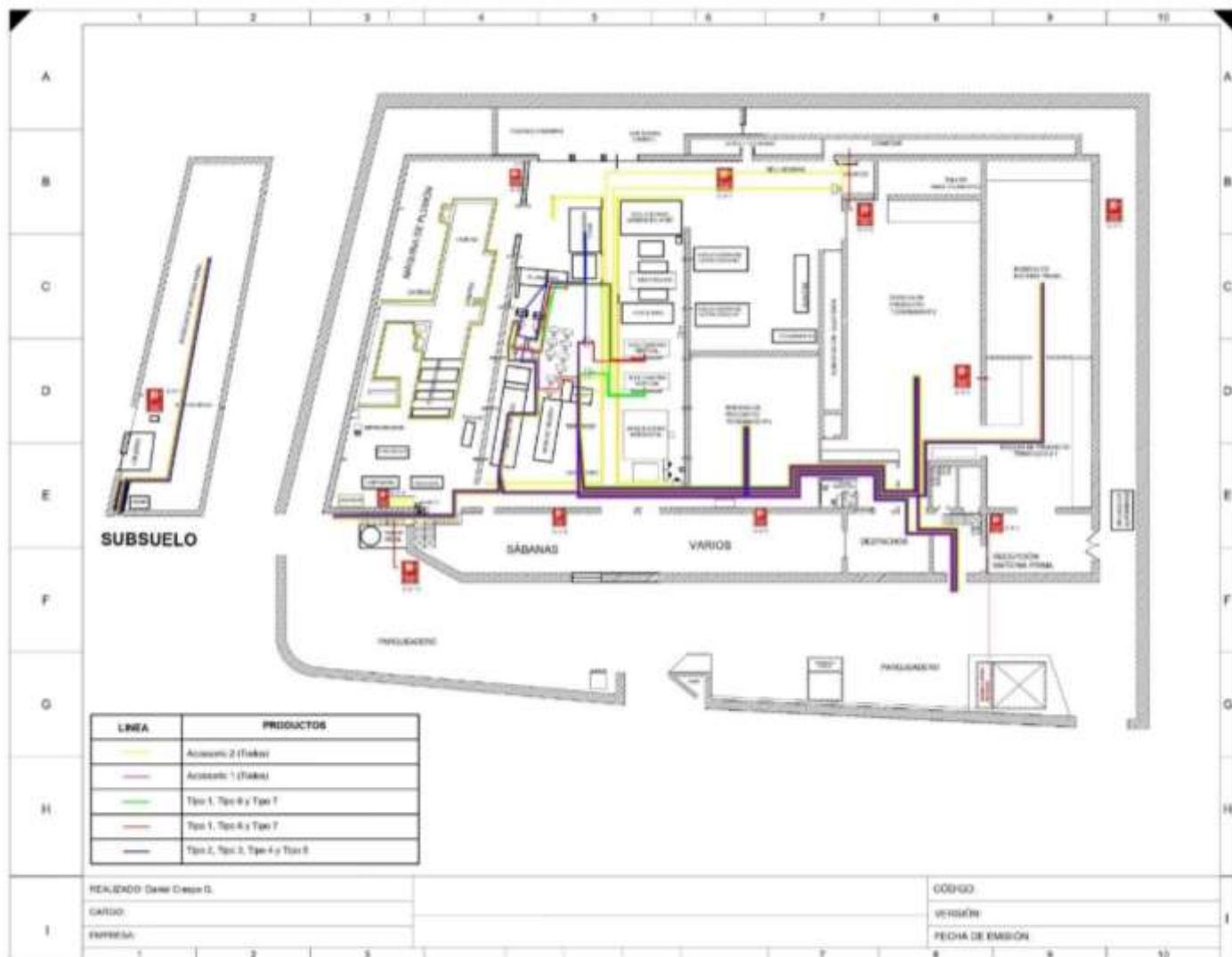
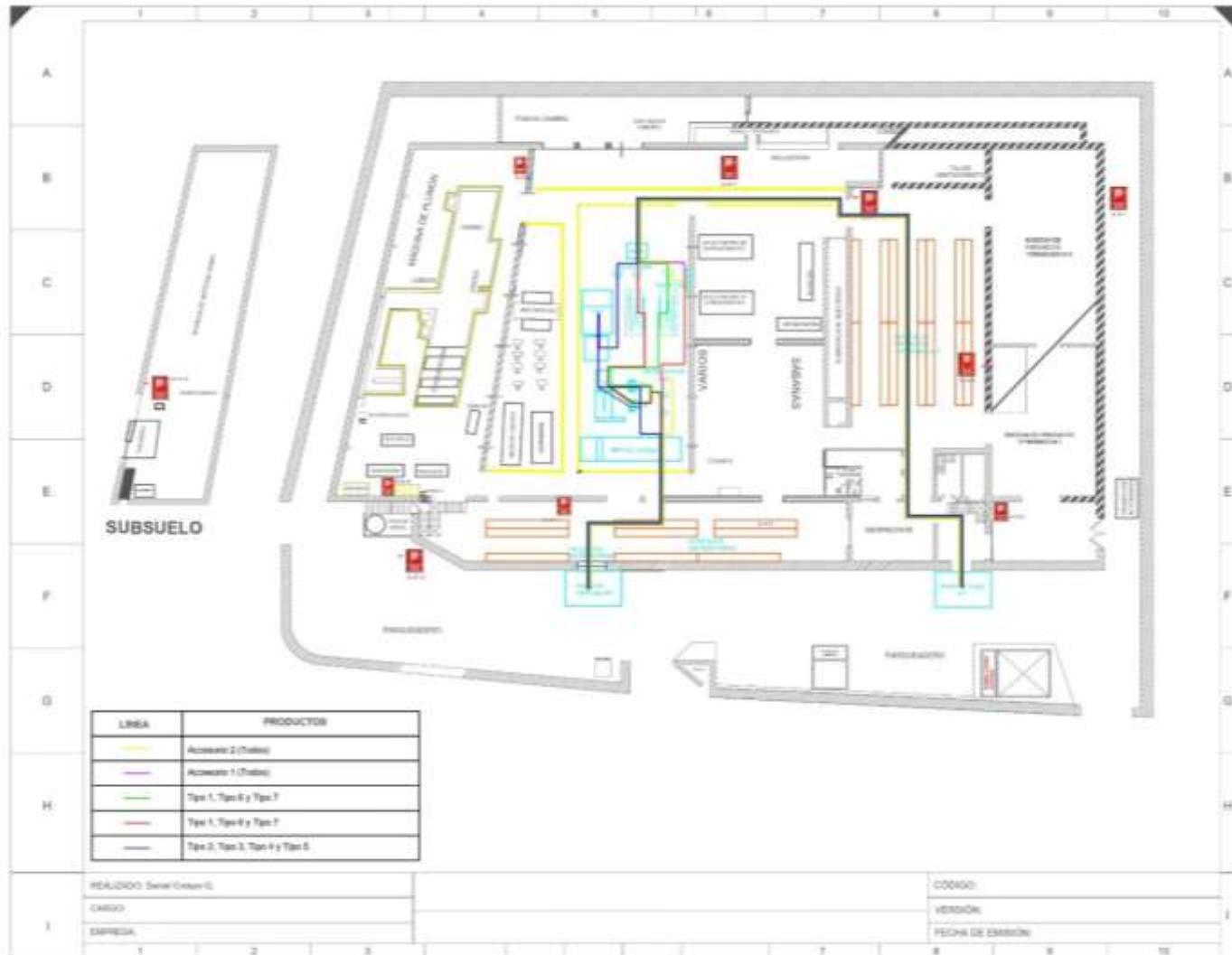
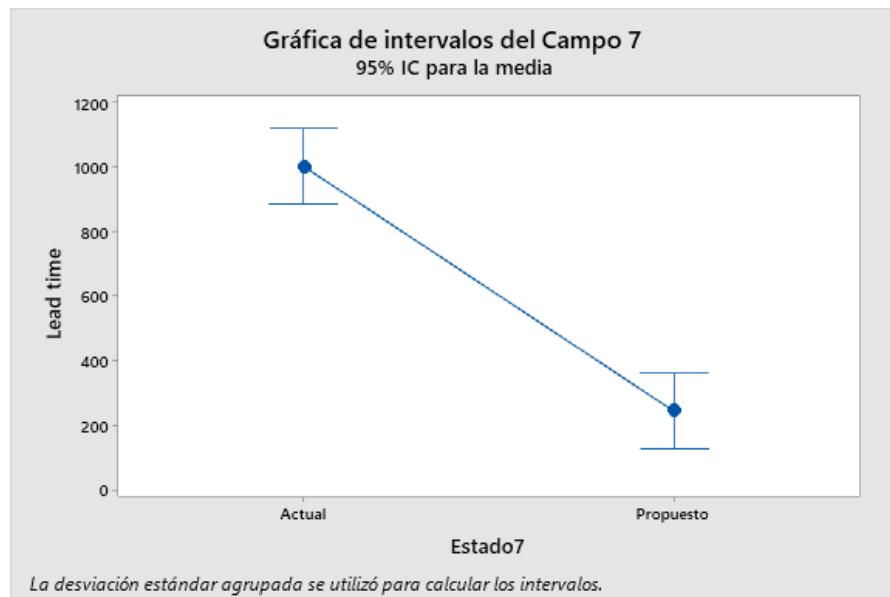


Figura 7*Diagrama de hilos de la situación propuesta*

En cuanto al Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción), se ha obtenido una gran diferencia entre el tiempo actual y propuesto, siendo este último el mejor, tal como se muestra en la Figura 8. Además, se puede observar que se ha reducido considerablemente el tiempo total de producción con la propuesta realizada.

Figura 8

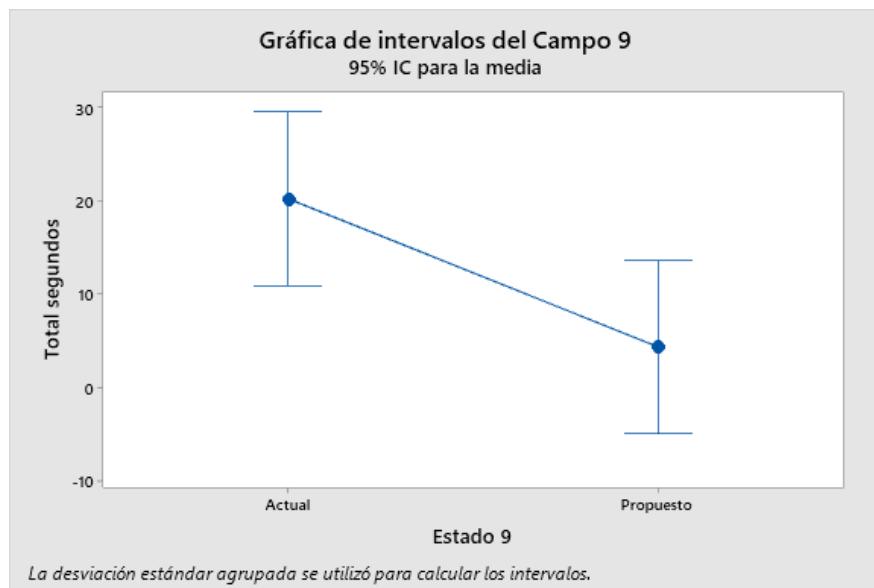
Gráfica de intervalos del Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción).



Otro campo que ha presentado una diferencia estadística significativa es el Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades). Se ha identificado que existe un menor tiempo de transporte en la propuesta de distribución de planta realizada, tal como se observa en la Figura 9. En esta se puede observar que el límite inferior del estado actual y del límite superior del estado propuesto se encuentran dentro del mismo rango, lo cual podría indicar que los valores dentro de esos límites son similares, sin embargo el estado propuesto tiene una media mucho menor al estado actual. Esta disminución en el tiempo de transporte está directamente relacionado a la distancia recorrida por el material y la nueva distribución de planta propuesta.

Figura 9

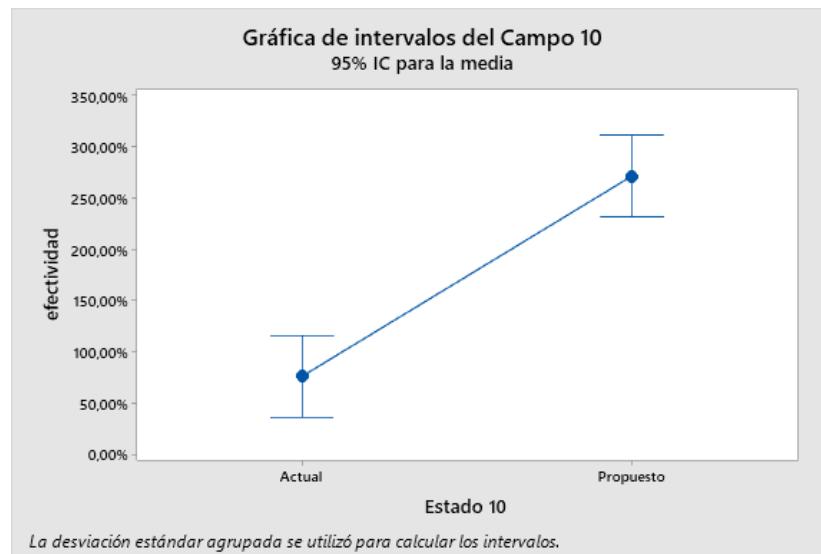
Gráfica de intervalos del Campo 9: Duration of travel between activities (*Tiempo de transporte entre actividades*).



El Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción) ha tenido una mejora significativa en el estado propuesto, tal como se muestra en la Figura 10. Este indicador ha aumentado la efectividad de producción de la línea a una media de aproximadamente 250% de efectividad.

Figura 10

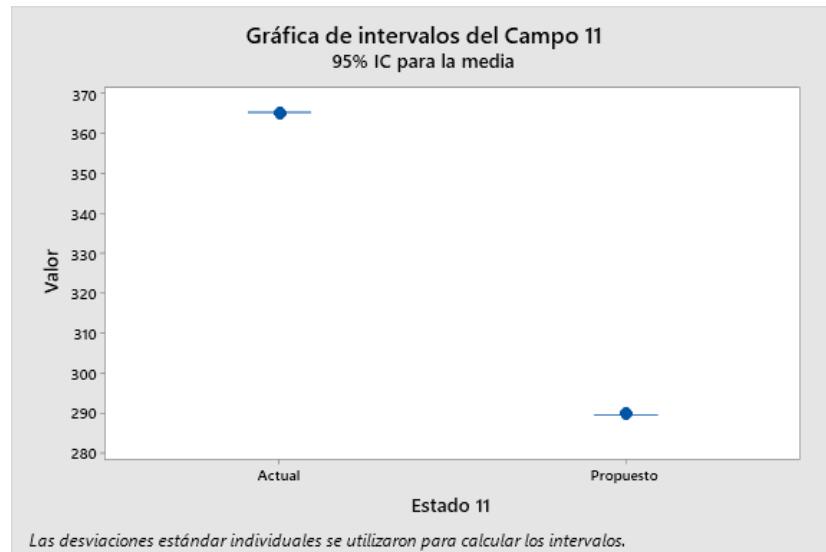
Gráfica de intervalos del Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción).



En el Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio) se ha presentado una diferencia significativa en el total de espacio ocupado entre el estado actual y propuesto, aunque entre cada sección no exista una mayor diferencia, si lo hay en el total del área ocupada, tal como se muestra en la Figura 11. Cabe recalcar que esta figura no posee límites de especificación puesto que solo se ha analizado el valor total del espacio de cada estado.

Figura 11

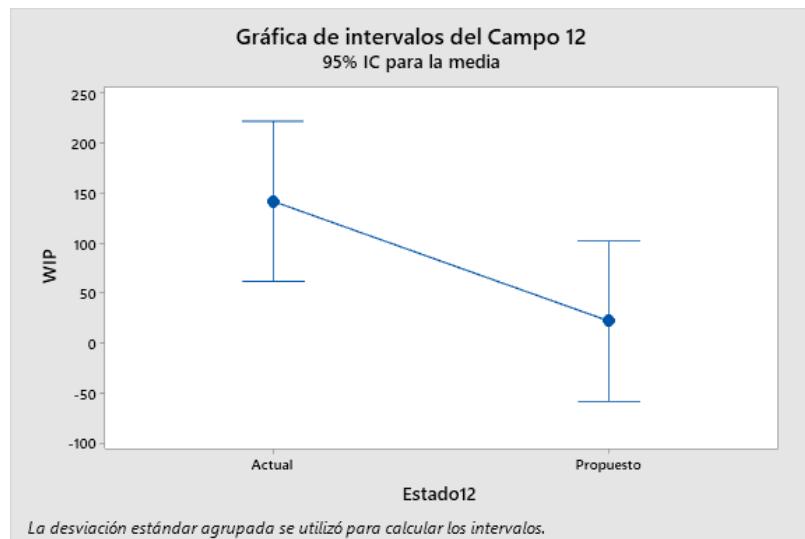
Gráfica de intervalos del Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio)



En la distribución de planta propuesta se ha logrado disminuir el Campo 12: WIP (Trabajo en proceso), tal como se observa en la Figura 12. Sin embargo, la disminución de este indicador no siempre podría resultar en mejoras globales de la línea productiva. Se debe tener en consideración que el límite inferior del estado actual y del límite superior del estado propuesto se encuentran dentro del mismo rango, lo cual podría indicar que los valores dentro de esos límites son similares en ambos estados.

Figura 12

Gráfica de intervalos del Campo 12: WIP (Trabajo en proceso).



En los demás indicadores no se han encontrado una diferencia significativa importante.

5. Conclusiones

El presente trabajo de titulación ha cumplido con su objetivo de determinar la influencia de la distribución de planta en la productividad de pymes textiles. Esto se ha comprobado a través de la medición de KPI's en un caso de estudio comparando situación actual y propuesta.

Se han identificado, valido y utilizado 16 indicadores clave de desempeño para medir la productividad en pymes textiles. Se debe recalcar que el indicador de eficiencia del material no ha podido ser medido en el estado propuesto a través de la simulación; se recomienda tomar medidas específicas para futuras mediciones.

En el presente estudio los indicadores: calidad: productos correctos, distancia recorrida por el material, tiempo total de producción, tiempo de transporte entre actividades,

efectividad de la producción, trabajo en proceso y utilización del espacio, se encuentran directamente relacionados con la distribución de planta y al compararse entre el estado actual y propuesto han presentado una diferencia significativa.

Por otro lado, la simulación de eventos discretos ha sido de gran ayuda para evaluar la redistribución de las instalaciones. Se debe recalcar que al utilizar herramientas como FlexSim, las empresas pueden ahorrar tiempo, costo y esfuerzo, simulando varios escenarios para la toma de decisiones.

Al finalizar con este trabajo de titulación se ha podido evidenciar que la distribución de planta si tiene influencia en la productividad en las pymes textiles, esto debido a que una adecuada distribución de planta puede generar ahorros de tiempo, distancia recorrida y mejora en la productividad.

Además, se recomienda que los KPI's de este estudio sean utilizados en otras empresas textiles con la finalidad de evaluar la influencia de la distribución de planta en la productividad de pymes textiles.

6. Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a mi familia por el apoyo y paciencia brindada durante este largo proceso. A mi tutora, Ing. Paola Vintimilla Álvarez, por su paciencia, guía y conocimiento brindado durante la realización de este trabajo. También a todos los docentes que me han compartido su conocimiento para realizar mi trabajo de titulación. De igual manera, agradezco a la empresa que ha servido como caso de estudio por abrirme las puertas para realizar el presente estudio. Y a todas esas personas que me han apoyado durante este largo proceso y me han motivado a sacar adelante este trabajo.

7. Referencias

- Aguirre, J. C. G. (2022). Factores que contribuyen en el aumento de la productividad de las pequeñas y medianas empresas textiles de cuenca ecuador. *Vinculatéjica EFAN*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.29105/vtga8.1-300>
- AITE. (2022). *Asociación de Industriales Textiles de Ecuador*. AITE. <https://www.aite.com.ec/>
- Ali Naqvi, S. A., Fahad, M., Atir, M., Zubair, M., & Shehzad, M. M. (2016). Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning. *Cogent Engineering*, 3(1), 1207296. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1207296>
- Brás, M., & Moura, A. (2022). Designing a New Layout for a Balanced Production Line: A Practical Application: *Proceedings of the 11th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems*, 161-168. <https://doi.org/10.5220/0010827400003117>
- Cebeci, U. (2009). Fuzzy AHP-based decision support system for selecting ERP systems in textile industry by using balanced scorecard. *Expert Systems with Applications*, 36(5), 8900-8909. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.046>
- Corporación Financiera Nacional B.P. (2022, septiembre 1). *Ficha Sectorial Prendas de Vestir*. Corporación Financiera Nacional. <https://www.cfn.fin.ec/bibliotecainfo/>
- Dalkey, N. C., Brown, B. B., & Cochran, S. W. (1969). *The Delphi Method, III: Use of Self-Ratings To Improve Group Estimates*. RAND Corporation. https://www.rand.org/pubs/research_memoranda/RM6115.html
- Gordon, T., & Pease, A. (2006). RT Delphi: An efficient, “round-less” almost real time Delphi method. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(4), 321-333. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.005>

Gyulai, D., Szaller, Á., & Viharos, Z. J. (2016). Simulation-based Flexible Layout Planning Considering Stochastic Effects. *Procedia CIRP*, 57, 177-182.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.031>

Herrera Masó, J. R., Calero Ricardo, J. L., González Rangel, M. Á., Collazo Ramos, M. I., Travieso González, Y., Herrera Masó, J. R., Calero Ricardo, J. L., González Rangel, M. Á., Collazo Ramos, M. I., & Travieso González, Y. (2022). El método de consulta a expertos en tres niveles de validación. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 21(1).
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1729-519X2022000100014&lng=es&nrm=iso&tlang=es

Hlyal, M., Chahid, M. T., Soulhi, A., Alami, J. E., & Alami, N. E. (2015). Supplier's Selection for the Moroccan Textile Sector by Using Performance Measurement System. *Modern Applied Science*, 9(3), p102. <https://doi.org/10.5539/mas.v9n3p102>

Ibjújés Villacís, J. M., & Benavides Pazmiño, M. A. (2018). Contribución de la tecnología a la productividad de las pymes de la industria textil en Ecuador. *Cuadernos de Economía*, 41(115), 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.cesjef.2017.05.002>

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2011). *Resultados Censo Nacional Económico*.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2012). *Clasificación Nacional de Actividades Económicas. Unidad de Análisis y síntesis*.
<https://aplicaciones2.ecuadorencifras.gob.ec/SIN/descargas/ciiu.pdf>

Jacobs, F. R., & Chase, R. B. (2010). *Operations and supply chain management* (Thirteenth ed). McGraw-Hill Irwin.

Khan, M. A. R., & Bilal, A. (2019). Literature Survey about Elements of Manufacturing Shop Floor Operation Key Performance Indicators. *2019 5th International Conference on*

Control, Automation and Robotics (ICCAR), 586-592.

<https://doi.org/10.1109/ICCAR.2019.8813436>

Kovács, G. (2019). Layout design for efficiency improvement and cost reduction. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences*; 2019; 67; No. 3; 547-555.

<https://journals.pan.pl/dlibra/publication/129653/edition/113167>

Kovács, G. (2020). Combination of Lean value-oriented conception and facility layout design for even more significant efficiency improvement and cost reduction. *International Journal of Production Research*, 58(10), 2916-2936.

<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1712490>

Kusrini, E., Ahmad, A., & Murniati, W. (2019). Design Key Performance Indicator for Sustainable Warehouse: A Case Study in a Leather Manufacturer. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 598(1), 012042.

<https://doi.org/10.1088/1757-899X/598/1/012042>

Lavy, S., A. Garcia, J., & K. Dixit, M. (2014). KPIs for facility's performance assessment, Part I: Identification and categorization of core indicators. *Facilities*, 32(5/6), 256-274.

<https://doi.org/10.1108/F-09-2012-0066>

Lavy, S., Garcia, J. A., & Dixit, M. K. (2010). Establishment of KPIs for facility performance measurement: Review of literature. *Facilities*, 28(9/10), 440-464.

<https://doi.org/10.1108/02632771011057189>

León, Y. O. L., Pravia, M. C. P., & Delgado, F. M. (2016). Procedimiento para la selección de la Comunidad de Expertos con técnicas multicriterio. *Ciencias Holguín*, 22(1), 34-49.

López-Gómez, E. (2017). EL MÉTODO DELPHI EN LA INVESTIGACIÓN ACTUAL EN EDUCACIÓN: UNA REVISIÓN TEÓRICA Y METODOLÓGICA. *Educación XX1*, 21(1). <https://doi.org/10.5944/educxx1.20169>

Mailan, O. S. C., Villapando, A. C., & Gumasing, M. J. J. (2021). A Facility Layout Improvement Design Model in Selected Garments Manufacturing in Metro Manila. *Proceedings of the 11th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 6.

Mamun, A. A., Bormon, K. K., Rasu, M. N. S., Talukder, A., Freeman, C., Burch, R., & Chander, H. (2022). An Assessment of Energy and Groundwater Consumption of Textile Dyeing Mills in Bangladesh and Minimization of Environmental Impacts via Long-Term Key Performance Indicators (KPI) Baseline. *Textiles*, 2(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/textiles2040029>

Moktadir, Md. A., Dwivedi, A., Rahman, A., Chiappetta Jabbour, C. J., Paul, S. K., Sultana, R., & Madaan, J. (2020). An investigation of key performance indicators for operational excellence towards sustainability in the leather products industry. *Business Strategy and the Environment*, 29(8), 3331-3351. <https://doi.org/10.1002/bse.2575>

Mucho Mejor Ecuador. (2021, octubre 14). *El sector textil y de confecciones y su importancia para Ecuador* | Mucho Mejor Ecuador [Mucho Mejor Ecuador]. <https://www.muchomejorecuador.org.ec/el-sector-textil-y-de-confecciones-y-su-importancia-para-ecuador/>

Naranjo, E. J. O., & Valle, A. X. Z. (2022). Distribución de planta y sus factores: Incidencia en el mejoramiento de la productividad. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 7(1), Article 1. <https://doi.org/10.33936/riemat.v7i1.4840>

Novakowski, N., & Wellar, B. (2008). Using the Delphi Technique in Normative Planning Research: Methodological Design Considerations. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 40(6), 1485-1500. <https://doi.org/10.1068/a39267>

Organización Mundial Del Comercio. (2022). *Examen estadístico del comercio mundial 2022.*

Organización Mundial del Comercio.

https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtsr_2022_c2_e.pdf

Paduloh, P., & Hardi, H. (2020). ANALYSIS OF PRODUCTIVITY BASED ON KPI CASE STUDY AUTOMOTIVE PAINT INDUSTRY. *Journal of Engineering and Management in Industrial System*, 8(1), Article 1.

Palango, J. A. A., Ortega, F. G. T., & Chicaiza, F. R. L. (2022). Indicators for the facility layout design in MSMEs in the textile sector with a resilient approach. *ConcienciaDigital*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v5i2.2115>

Peñaranda, S. A. (2019). Bajo nivel de crecimiento de la industria textil ecuatoriana: ¿Elevada concentración industrial o problemas productivos estructurales? *Bolentín de Coyuntura*, 21, Article 21. <https://doi.org/10.31243/bcoyu.21.2019.691>

Pérez, J. (2022). *Cuenca, una ciudad económicamente próspera pero también cara*. Gestión Digital. <https://revistagestion.ec/analisis-economia-y-finanzas/cuenca-una-ciudad-economicamente-próspera-pero-tambien-cara/>

Primo-Valdiviezo, J. P., Ramos-Luque, P., & Quiroz-Flores, J. C. (2022). *Improvement of Productivity in the Circular Knitting Area, using Lean Methodologies in SMEs of the Textile Sector.*

Priyanka, S., & Rahul, D. (2020). Productivity Improvement in Small Scale Industry Through Plant Layout. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 3(4), 521-523.

Quispe-Roncal, H., Takahashi-Gutierrez, M., Cardenas, L., Carvallo-Munar, E., & Macassi-Jauregui, I. (2020). Modelo combinado de SLP y TPM para la mejora de la eficiencia de producción en una MYPE del sector textil confecciones peruano. *Proceedings of*

the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development” “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy”. The 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development” “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy”. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.322>

Ramos-Galarza, C., & Acosta-Rodas, P. (2018). Stress and productivity in workers of textile companies. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 23(1), 17-29. <https://doi.org/10.1108/JFMM-02-2018-0030>

Reyes, J. F., Barragan, M. A., Sanchez, P., & Garcia, M. V. (2021). Planificación del diseño de las instalaciones de la industria de comercialización de neumáticos. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, E42, 616-629.

Rodrigues, T. V., Queiroz, L. M. S., Junior, J. da S. F., Sanjulião, L.-R. K. A. F., & Oliveira, N. P. (2020). SIMULATION LAYOUT PROPOSAL IN A BRAZILIAN TEXTILE INDUSTRY: PROPOSTA DE LAYOUT DE SIMULAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA TÊXTIL BRASILEIRA. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(5), Article 5.

Rowe, G., & Wright, G. (2001). Expert Opinions in Forecasting: The Role of the Delphi Technique. En J. S. Armstrong (Ed.), *Principles of Forecasting: A Handbook for Researchers and Practitioners* (pp. 125-144). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-306-47630-3_7

Ruiz, S., Simón, A., Sotelo, F., & Raymundo, C. (2019). Optimized plant distribution and 5S model that allows SMEs to increase productivity in textiles. *Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions*. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.59>

Santos, Y. M., Torres, O. V. C., Leyva, L. L. L., Granda, I. D. H., Orges, C. A. M., & Piarpuezan, R. V. S. (2019). Improvement Plant Layout of Production Line in Textile Company: A Case Study. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 10.

Setiawan, I., & Purba, H. (2020). A Systematic Literature Review of Key Performance Indicators (KPIs) Implementation. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 1, 200-208. <https://doi.org/10.7777/jiemar.v1i3.79>

Skulmoski, G. J., Hartman, F. T., & Krahn, J. (2007). The Delphi Method for Graduate Research. *Journal of Information Technology Education: Research*, 6(1), 1-21.

Varela-Ruiz, M., Díaz-Bravo, L., & García-Durán, R. (2012). Descripción y usos del método Delphi en investigaciones del área de la salud. *Investigación en Educación Médica*, 1(2), 90-95.

Wagaye, B. T., & Walle, G. A. (2019). Aspects of Productivity in Cotton Spinning. *International Journal on Textile Engineering and Processes*, 5(1), 4.

Wanniarachchi, W. N. C., Gopura, R. A. R. C., & Punchihewa, H. K. G. (2016). Development of a Layout Model Suitable for the Food Processing Industry. *Journal of Industrial Engineering*, 2016, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2016/2796806>

8. Anexos

Anexo A. Encuesta realizada en la consulta a expertos

Validación de KPI's para evaluar la productividad de Pymes textiles.

La presente encuesta tiene como objetivo validar Indicadores Clave de Desempeño (KPI's) que puedan aplicarse en Pymes textiles con la finalidad de evaluar la influencia de la distribución de planta en la productividad. Para esto se ha realizado una revisión bibliográfica de KPI's en términos de productividad, distribución de planta e industria textil.

Se le solicita a usted, como experto, que participe del siguiente formulario, el mismo que presenta 22 campos en los cuales se engloban a los KPI's más relevantes identificados en la bibliografía para evaluar la influencia de la distribución de planta en la productividad de Empresas Textiles.

Se le solicita que seleccione los campos que considere relevantes y, si lo hace, valide al menos un KPI con su respectiva formulación.

En el caso que el KPI no contenga fórmula se le solicita, de manera optativa, que se coloque en la opción de Otras una formulación sugerida respecto a la opción seleccionada sin fórmula.

De antemano se agradece su colaboración.

* Obligatoria

Validación de KPI's relevantes

Indique si los campos e indicadores clave de desempeño (KPI's) presentados a continuación pueden aplicarse para medir la influencia de la distribución de planta en la productividad de una Pyme Textil. En caso que el indicador no contenga formulación, optativamente se le solicita colocar una formulación sugerida para el desarrollo del indicador.

1. Campo1: Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) *

 Si

 No
2. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos)

| KPI | Eficiencia global de los equipos |
|-------------|---|
| FORMULACIÓN | Disponibilidad*Eficiencia*Calidad (Quispe-Boncal et al., 2020) |
| REFERENCIA | |

Opción 1

| KPI | Efficiency (Eficiencia) |
|------------|-------------------------|
| REFERENCIA | (Palango et al., 2022) |

Opción 2

| | |
|-------------|--|
| KPI | Overall equipment effectiveness (Efectividad global de los equipos) |
| FORMULACIÓN | Availability * Performance rate * Quality Disponibilidad* Tasa de Rendimiento*Calidad |
| REFERENCIA | (Primo-Valdiviezo et al., 2022), (Romeral Martínez et al., 2020), (Khan & Bilal, 2019) |

- Opción 3
 Otras

| | |
|------------|---|
| KPI | Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) |
| REFERENCIA | (Wanniarachchi et al., 2016) |

- Opción 4

3. Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) *
- Si
 No
4. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) *

| | |
|-------------|--|
| KPI | Quality Rate (Tasa de calidad) |
| FORMULACIÓN | Good production/ Actual production Producción correcta/ Producción actual |
| REFERENCIA | (Behrens & Lau, 2008) |

| | |
|-------------|---|
| KPI | First time pass yield (Rendimiento de la primera pasada) |
| FORMULACIÓN | Number of good parts/Number of inspected parts Número de piezas buenas/Número de piezas inspeccionadas |
| REFERENCIA | (Khan & Bilal, 2019) |

| | |
|-------------|--|
| KPI | Quality Rate (Tasa de calidad) |
| FORMULACIÓN | (Total products-defect)/Total products *100% (Total de productos- Productos defectuosos)/Total de productos *100% |
| REFERENCIA | (Amrina & Firlius, 2018), (Romeral Martínez et al., 2020), (Khan & Bilal, 2019) |

- Opción 1

- Opción 2

- Opción 3

5. Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) *
- Si
 No
6. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) *

| | |
|------------|--|
| KPI | Travelled distance (Distancia recorrida) |
| REFERENCIA | (D'Antonio & Chiabert, 2018), (Wanniarachchi et al., 2016) |

- Opción 1

| | |
|------------|---|
| KPI | Travel distance of materials (Distancia recorrida por los materiales) |
| REFERENCIA | (Kovács, 2019), (Kovács, 2020) |

- Opción 2

- Opción 3
 Otras

| | |
|------------|---|
| KPI | Line Length (Longitud de recorrido de la línea) |
| REFERENCIA | (Gyulai et al., 2016) |

- Opción 4

7. Campo 4: Machine availability (Disponibilidad ad de las máquinas) *

- Si
 No

8. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Machine availability (Disponibilidad de las máquinas) *

| KPI | Availability rate (Tasa de disponibilidad) (Operating time/Loading time) *100 (Tiempo de operación/Tiempo de carga) *100 |
|-------------|--|
| FORMULACIÓN | |
| REFERENCIA | (Amrina & Firdaus, 2018) |

| KPI | Availability of equipment (Disponibilidad de equipos) Net operation time/Scheduled operation time Tiempo de operación neto/ Tiempo de operación programada |
|-------------|--|
| FORMULACIÓN | |
| REFERENCIA | (Behrens & Lau, 2008) |

Opción 1

| KPI | Availability (Disponibilidad) Run time /Planned production time Tiempo de ejecución/ Tiempo de producción planeado |
|-------------|--|
| FORMULACIÓN | |
| REFERENCIA | (Khan & Bilal, 2019) |

Opción 2

| KPI | Machine availability (Disponibilidad de las máquinas) Effective time/ Available time Tiempo efectivo/ Tiempo disponible |
|-------------|---|
| FORMULACIÓN | |
| REFERENCIA | (Primo-Valdiviezo et al., 2022) |

Opción 3

| KPI | Availability (Disponibilidad) (Availability time- Unplanned time)/Availability time (Tiempo disponible-Tiempo no planificado)/Tiempo disponible |
|-------------|---|
| FORMULACIÓN | |
| REFERENCIA | (Romeral Martínez et al., 2020) |

Opción 5

Opción 4

9. Campo 5: Material efficiency (Eficiencia del material) *

- Si
 No

10. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Material efficiency (Eficiencia del material) *

| KPI | Material efficiency (Eficiencia del material) |
|------------|---|
| REFERENCIA | (Behrens & Lau, 2008) |

Opción 1

| KPI | Consumable material per unit (Material consumible por unidad) |
|------------|---|
| REFERENCIA | (Shahbazi et al., 2017) |

Opción 3

| KPI | Material consumption (Consumo del material) Part weight /cycle time Peso por pieza/ Tiempo de ciclo |
|-------------|---|
| FORMULACIÓN | |
| REFERENCIA | (Romeral Martínez et al., 2020) |

Opción 5

Otras

| KPI | Material consumption (Consumo del material) Loss of Raw Material (month)/ Total Raw Material Consumption (month) Desperdicio de materia prima (mes)/Consumo total de Materia prima (mes) |
|-------------|--|
| FORMULACIÓN | |
| REFERENCIA | (Paduloh & Hardi, 2020) |

Opción 2

| KPI | Material waste per batch (Desperdicio del material por lote) |
|------------|--|
| REFERENCIA | (Wanniarachchi et al., 2016) |

Opción 4

11. Campo 6: Percentage of defective products (Porcentaje de productos defectuosos en el proceso productivo) *

- Si
- No

12. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Percentage of defective products (Porcentaje de productos defectuosos en el proceso productivo)

| KPI | Product defect rate [Tasa de productos defectuosos] |
|------------|---|
| REFERENCIA | {Bilal et al., 2006} |

Opción 1

| | |
|-------------|--|
| KPI | Bad stock (Unidades defectuosas en el inventario) |
| FORMULACIÓN | Bad stock(month)/Sales City(month) |
| REFERENCIA | Unidades defectuosas en el inventario (mes)/Cantidad de ventas (mes) {Paduloh & Hardi, 2020} |

Opción 2

| KPI | Percentage of defective products [Porcentaje de productos defectuosos] |
|-------------|--|
| FORMULACIÓN | Defective units/total production |
| REFERENCIA | Unidades defectuosas/ Producción total {Montava et al., 2010} |

Opción 3

| KPI | Lesser number of defective products [Menor número de productos defectuosos] |
|------------|---|
| REFERENCIA | {Moktadir et al., 2020} |

Opción 4

| KPI | Percentage of defects and waste [Porcentaje de defectos y desperdicios] |
|------------|---|
| REFERENCIA | {Palango et al., 2022} |

Opción 5

Otras

13. Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción) *

- Si
- No

14. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Production Lead time (Tiempo Total de Producción) *

| KPI | Time in system [Tiempo en el sistema] |
|------------|---------------------------------------|
| REFERENCIA | {Azaadah et al., 2014} |

Opción 1

| KPI | Production lead time [Tiempo total de Producción] |
|------------|---|
| REFERENCIA | {Brás & Moura, 2022},{Ali Naqvi et al., 2016},{Cobbold, 2009} |

Opción 2

| KPI | Average Lead time [Promedio del tiempo de producción] |
|------------|---|
| REFERENCIA | {Güler et al., 2014b} |

Opción 3

Otras

15. Campo 8: Process Performance (Rendimiento del Proceso) *

- Si
- No

16. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Process Performance (Rendimiento del Proceso) *

| KPI | Line efficiency (Eficiencia de la línea) |
|-------------|--|
| FORMULACIÓN | Total processing time/(Numbers of tasks*Numbers of workstations) Tiempo de procesamiento total/(Número de tareas*Número de estaciones de trabajo) |
| REFERENCIA | (Brás & Moura, 2022) |

| KPI | Yield (Rendimiento) |
|------------|----------------------|
| REFERENCIA | [Hiyal et al., 2015] |

 Opción 1 Opción 2

| KPI | Performance (Rendimiento) |
|-------------|---|
| FORMULACIÓN | Calculated production time/Actual production time Tiempo de producción calculado/Tiempo de producción real |
| REFERENCIA | (Khan & Bilal, 2019) |

 Opción 3 Opción 4

| KPI | Performance (Rendimiento) |
|-------------|--|
| FORMULACIÓN | (Total production parts/Operating time)/Idle run rate (Total de piezas de producción/Tiempo de operación)/Tasa de inactividad |
| REFERENCIA | (Romeral Martínez et al., 2020) |

 Opción 5 Otras

17. Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) *

- Si
- No

18. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) *

| KPI | Tiempo de traslado |
|-------------|---|
| FORMULACIÓN | (Tiempo actual - tiempo propuesto)/Tiempo propuesto |
| REFERENCIA | (Quespe-Hernández et al., 2020) |

| KPI | Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) |
|------------|--|
| REFERENCIA | [Palango et al., 2022] |

| KPI | Handling Time (Tiempo de manejo) |
|------------|----------------------------------|
| REFERENCIA | [Tutano et al., 2018] |

 Opción 1 Opción 2 Opción 3 Otras

19. Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción) *

- Si
- No

20. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Production effectiveness (Efectividad de la producción) *

| KPI | Output [Salida] |
|------------|------------------------|
| REFERENCIA | [Rehman & Iqbal, 2018] |

| KPI | Production effectiveness (Efectividad de la producción) |
|-------------|---|
| FORMULACIÓN | Produced quantity divided by the required part count (Number of parts produced in the batch / Number of parts required in the batch) * 100 El número de piezas producidas dividido por el número de piezas requeridas en el lote * 100 |
| REFERENCIA | [Omar & El-Balkhi, 2015] |

| KPI | Number of finished products (Número de productos terminados) |
|------------|--|
| REFERENCIA | [Ghosh et al., 2019] |

 Opción 1 Opción 2 Opción 3 Otras

21. Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio) *

- Si
- No

22. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Space utilization (Utilización del espacio) *

| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">KPI</th><th style="text-align: left; padding: 2px;">Occupied Space [Espacio ocupado] [Vachon & Chaher, 2018]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">REFERENCIA</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">(Kovács, 2019), (Kovács, 2020)</td></tr> </tbody> </table> | KPI | Occupied Space [Espacio ocupado] [Vachon & Chaher, 2018] | REFERENCIA | (Kovács, 2019), (Kovács, 2020) | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">KPI</th><th style="text-align: left; padding: 2px;">Space used for assembly [Espacio usado para ensamblaje]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">REFERENCIA</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">(Kovács, 2019), (Kovács, 2020)</td></tr> </tbody> </table> | KPI | Space used for assembly [Espacio usado para ensamblaje] | REFERENCIA | (Kovács, 2019), (Kovács, 2020) | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">KPI</th><th style="text-align: left; padding: 2px;">Space utilization efficiency [Eficiencia de la utilización del espacio]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">REFERENCIA</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">(Palango et al., 2022)</td></tr> </tbody> </table> | KPI | Space utilization efficiency [Eficiencia de la utilización del espacio] | REFERENCIA | (Palango et al., 2022) |
|--|---|---|------------|--------------------------------|---|-----|---|------------|--------------------------------|---|-----|---|------------|------------------------|
| KPI | Occupied Space [Espacio ocupado] [Vachon & Chaher, 2018] | | | | | | | | | | | | | |
| REFERENCIA | (Kovács, 2019), (Kovács, 2020) | | | | | | | | | | | | | |
| KPI | Space used for assembly [Espacio usado para ensamblaje] | | | | | | | | | | | | | |
| REFERENCIA | (Kovács, 2019), (Kovács, 2020) | | | | | | | | | | | | | |
| KPI | Space utilization efficiency [Eficiencia de la utilización del espacio] | | | | | | | | | | | | | |
| REFERENCIA | (Palango et al., 2022) | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Opción 1 | <input type="checkbox"/> Opción 2 | <input type="checkbox"/> Opción 3 | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Otras | | | | | | | | | | | | | | |

23. Campo 12: WIP (Trabajo en proceso) *

- Si
- No

24. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo WIP (Trabajo en proceso) *

| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">KPI</th><th style="text-align: left; padding: 2px;">WIP (Trabajo en proceso)</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">REFERENCIA</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">(Güler et al., 2020), (Kumar et al., 2020)</td></tr> </tbody> </table> | KPI | WIP (Trabajo en proceso) | REFERENCIA | (Güler et al., 2020), (Kumar et al., 2020) | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">KPI</th><th style="text-align: left; padding: 2px;">WIP Inventory [Inventario de trabajo en proceso]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">REFERENCIA</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">(Kovács, 2020)</td></tr> </tbody> </table> | KPI | WIP Inventory [Inventario de trabajo en proceso] | REFERENCIA | (Kovács, 2020) | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">KPI</th><th style="text-align: left; padding: 2px;">Volume of material between activities [Volumen de material entre actividades]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">REFERENCIA</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">(Palango et al., 2022)</td></tr> </tbody> </table> | KPI | Volume of material between activities [Volumen de material entre actividades] | REFERENCIA | (Palango et al., 2022) |
|--|---|-----------------------------------|------------|--|--|-----|--|------------|----------------|---|-----|---|------------|------------------------|
| KPI | WIP (Trabajo en proceso) | | | | | | | | | | | | | |
| REFERENCIA | (Güler et al., 2020), (Kumar et al., 2020) | | | | | | | | | | | | | |
| KPI | WIP Inventory [Inventario de trabajo en proceso] | | | | | | | | | | | | | |
| REFERENCIA | (Kovács, 2020) | | | | | | | | | | | | | |
| KPI | Volume of material between activities [Volumen de material entre actividades] | | | | | | | | | | | | | |
| REFERENCIA | (Palango et al., 2022) | | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Opción 1 | <input type="checkbox"/> Opción 2 | <input type="checkbox"/> Opción 3 | | | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Otras | | | | | | | | | | | | | | |

25. Campo 13: Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) *

- Si
- No

26. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) *

| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">KPI</th><th style="text-align: left; padding: 2px;">Man Power Efficiency [Eficiencia de la mano de obra]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">FORMULACIÓN</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">Man Power ideal/Man Power Actual Mano de obra ideal/Mano de obra actual</td></tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">REFERENCIA</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">(Amrina & Firdaus, 2018)</td></tr> </tbody> </table> | KPI | Man Power Efficiency [Eficiencia de la mano de obra] | FORMULACIÓN | Man Power ideal/Man Power Actual Mano de obra ideal/Mano de obra actual | REFERENCIA | (Amrina & Firdaus, 2018) | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">KPI</th><th style="text-align: left; padding: 2px;">Productivity of employee [Productividad del empleado]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">REFERENCIA</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">(Behrens & Lau, 2006)</td></tr> </tbody> </table> | KPI | Productivity of employee [Productividad del empleado] | REFERENCIA | (Behrens & Lau, 2006) |
|---|--|--|-------------|--|------------|--------------------------|--|-----|---|------------|-----------------------|
| KPI | Man Power Efficiency [Eficiencia de la mano de obra] | | | | | | | | | | |
| FORMULACIÓN | Man Power ideal/Man Power Actual Mano de obra ideal/Mano de obra actual | | | | | | | | | | |
| REFERENCIA | (Amrina & Firdaus, 2018) | | | | | | | | | | |
| KPI | Productivity of employee [Productividad del empleado] | | | | | | | | | | |
| REFERENCIA | (Behrens & Lau, 2006) | | | | | | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Opción 1 | <input type="checkbox"/> Opción 2 | | | | | | | | | | |

| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">KPI</th><th style="text-align: left; padding: 2px;">Worker efficiency [Eficiencia del trabajador]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">FORMULACIÓN</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">Actual worker operating time/Actual worker attendance time Tiempo de operación del trabajador/ Tiempo de estancia en planta del trabajador</td></tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">REFERENCIA</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">(Khan & Bilal, 2019)</td></tr> </tbody> </table> | KPI | Worker efficiency [Eficiencia del trabajador] | FORMULACIÓN | Actual worker operating time/Actual worker attendance time Tiempo de operación del trabajador/ Tiempo de estancia en planta del trabajador | REFERENCIA | (Khan & Bilal, 2019) |
|---|---|---|-------------|---|------------|----------------------|
| KPI | Worker efficiency [Eficiencia del trabajador] | | | | | |
| FORMULACIÓN | Actual worker operating time/Actual worker attendance time Tiempo de operación del trabajador/ Tiempo de estancia en planta del trabajador | | | | | |
| REFERENCIA | (Khan & Bilal, 2019) | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Opción 3 | | | | | | |

| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;">KPI</th><th style="text-align: left; padding: 2px;">Employee productivity [Productividad del empleado]</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">FORMULACIÓN</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">Good produced parts/Operator Piezas correctas/operador</td></tr> <tr> <td style="text-align: left; padding: 2px;">REFERENCIA</td><td style="text-align: left; padding: 2px;">(Romeral Martínez et al., 2020)</td></tr> </tbody> </table> | KPI | Employee productivity [Productividad del empleado] | FORMULACIÓN | Good produced parts/Operator Piezas correctas/operador | REFERENCIA | (Romeral Martínez et al., 2020) |
|---|---|--|-------------|---|------------|---------------------------------|
| KPI | Employee productivity [Productividad del empleado] | | | | | |
| FORMULACIÓN | Good produced parts/Operator Piezas correctas/operador | | | | | |
| REFERENCIA | (Romeral Martínez et al., 2020) | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Otras | | | | | | |

Opción 4

27. Campo 14: Defective goods returned by clients (Productos defectuosos devueltos por clientes) *

- Si
- No

28. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Defective goods returned by clients (Productos defectuosos devueltos por clientes) *

| | | | | | |
|-------------------------|---|-------------------------|---|-------------------------|---|
| KPI REFRENCIA | Complaint ratio (Ratio de reclamos) (Bello et al., 2006) | KPI REFRENCIA | Defective goods returned by clients (Productos defectuosos devueltos por clientes) [Utilizaciones/Unidades devueltas] [Unidades devueltas/Unidades entregadas] (Montoya et al., 2019) | KPI REFRENCIA | Returns (Devoluciones) (Villegas et al., 2021) |
|-------------------------|---|-------------------------|---|-------------------------|---|

- Opción 1
 Otras

Opción 2

Opción 3

29. Campo 15: Machine utilization (Utilización de las máquinas) *

- Si
 No

30. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Machine utilization (Utilización de las máquinas) *

| | | | |
|-------------------------|---|-------------------------|---|
| KPI REFRENCIA | Machine utilization (Utilización de las máquinas) (Azadeh et al., 2013), (Gyulal et al., 2016) | KPI REFRENCIA | Utilization efficiency (Utilización eficiente) Actual unit manufacturing time/Actual unit busy time Tiempo real de fabricación de la unidad/ Tiempo de ocupación real de la unidad (Khan & Bilal, 2019) |
|-------------------------|---|-------------------------|---|

- Opción 1
 Otras

Opción 2

31. Campo 16: Number of operators (Número de operarios) *

- Si
 No

32. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Number of operators (Número de operarios) *

| | | | |
|-------------------------|--|-------------------------|--|
| KPI REFRENCIA | Number of operators (Número de operarios) (Kovács, 2020), (D'Antonio & Chabert, 2018) | KPI REFRENCIA | Number of workers (Número de trabajadores) (Kovács, 2019) |
|-------------------------|--|-------------------------|--|

- Opción 1
 Otras

Opción 2

33. Campo 17: Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) *

- Si
 No

34. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) *

| | | | |
|-------------------------|--|-------------------------|---|
| KPI REFRENCIA | Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) (Brás & Moura, 2022), (Kovács, 2020) | KPI REFRENCIA | Number of cells (Número de celdas) (D'Antonio & Chabert, 2018) |
|-------------------------|--|-------------------------|---|

- Opción 1
 Otras

Opción 2

35. Campo 18: Production capacity (Capacidad de producción) *

- Si
 No

36. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Production capacity (Capacidad de producción) *

| KPI | Capacity utility (Utilidad de la capacidad) | KPI | Production capacity (Capacidad de producción) | KPI | Stated maximum facility capacity utilization (utilización máxima de la capacidad) |
|-------------|---|------------|---|------------|---|
| FORMULACIÓN | [Cebrecet, 2025] | REFERENCIA | (Jalil et al., 2015) | REFERENCIA | (Wolinski et al., 2003) |

Opción 1 Opción 2 Opción 3

Otras

37. Campo 19: Productivity (Productividad) *

- Si
 No

38. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Productivity (Productividad) *

| KPI | Production rate (Tasa de producción) | KPI | Productivity (Productividad) |
|-------------|--------------------------------------|-------------|------------------------------|
| FORMULACIÓN | Total production/time used | FORMULACIÓN | Units/Shift |
| REFERENCIA | Producción total/ Tiempo utilizado | REFERENCIA | Unidades/ Turno |

Opción 1 Opción 2

39. Campo 20: Scrap quantity (Cantidad de Desperdicio)

- Si
 No

40. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Scrap quantity (Cantidad de Desperdicio)

| KPI | Scrap losses (Pérdida de desperdicio) | KPI | Scrap ratio (Ratio de desperdicio) | KPI | The amount of scrap produced (Cantidad de residuos producidos) |
|-------------|--|-------------|------------------------------------|------------|--|
| FORMULACIÓN | [Total cycle time * loss]/loading time | FORMULACIÓN | Scrap quantity/produced quantity | REFREN | Cantidad de desperdicio/Cantidad producida |
| REFERENCIA | (Amrina & Firdaus, 2013) | REFERENCIA | (Niven & Ritter, 2019) | REFERENCIA | (Shahbazi et al., 2017) |

Opción 1 Opción 2 Opción 3

Otras

41. Campo 21: Machine performance (Rendimiento de la maquinaria)

- Si
 No

42. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Machine performance (Rendimiento de la maquinaria)

| KPI | Machine performance (Rendimiento de la maquinaria) | KPI | Machine Performance Rate (Tasa de rendimiento de la maquinaria) |
|-------------|--|-------------|---|
| FORMULACIÓN | Current production/ Ideal production | FORMULACIÓN | (Finished Good + Reject)/(Std speed*(Load.time-Downtime)) |
| REFERENCIA | Producción actual/ Producción ideal | REFERENCIA | (Productos terminados + Rechazo)/(Velocidad estándar*(Tiempo de carga-Tiempo muerto)) |

Opción 1 Opción 2

43. Campo 22: Rate of non-compliance (Tasa de incumplimiento)

- Si
 No

44. Seleccione el indicador que usted considere más adecuado para el campo Rate of non-compliance (Tasa de incumplimiento)

| KPI | Rate of non-compliance (Tasa de incumplimiento) |
|------------|---|
| REFERENCIA | (Hilyal et al., 2015) |

Opción 1

Otras

| KPI | Failed delivery deadlines (Plazos de entrega incumplidos) |
|------------|---|
| REFERENCIA | (Palango et al., 2022) |

Opción 2

Anexo B. Resultado de la Prueba Exacta de Fisher para validar las opciones de los campos validados.

| Campo | Opciones | Valor Z |
|--|-----------------------|------------|
| | Opción 1 ¹ | 2,48806676 |
| Campo1: Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) | Opción 2 ³ | 1,84154944 |
| | Opción 3 ² | 2,17422923 |
| | Opción 4 ³ | 1,0198039 |
| Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) | Opción 1 ³ | 1,4832397 |
| | Opción 2 ¹ | 2,5437351 |
| | Opción 3 ² | 2,40370085 |
| | Opción 1 ³ | 1,81392463 |
| Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) | Opción 2 ¹ | 2,96897538 |
| | Opción 3 ³ | 1,86189867 |
| | Opción 4 ³ | 1,81392463 |
| | Opción 1 ³ | 1,5 |
| Campo 5: Material efficiency (Eficiencia del material) | Opción 2 ¹ | 2,26778684 |
| | Opción 3 ³ | 0,61834694 |
| | Opción 4 ³ | 1,5 |
| Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción) | Opción 1 ² | 2,19089023 |
| | Opción 2 ¹ | 3,14362099 |
| | Opción 3 ³ | 0,53160953 |
| Campo 8: Process Performance (Rendimiento del Proceso) | Opción 1 ¹ | 2,5437351 |
| | Opción 3 ² | 2,21108319 |
| | Opción 5 ³ | 1,14017543 |

| | | |
|---|-----------------------|------------|
| Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) | Opción 1 ² | 2,1602469 |
| | Opción 2 ¹ | 3,34664011 |
| | Opción 3 ³ | 1 |
| Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción) | Opción 1 ³ | 1,49071198 |
| | Opción 2 ¹ | 3,28165062 |
| | Opción 3 ³ | 0,58489765 |
| Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio) | Opción 1 ² | 2,21108319 |
| | Opción 2 ³ | 1,02353263 |
| | Opción 3 ¹ | 3,82426464 |
| Campo 12: WIP (Trabajo en proceso) | Opción 1 ¹ | 2,79284801 |
| | Opción 2 ² | 2,17422923 |
| | Opción 3 ³ | 1,5948286 |
| Campo 13: Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) | Opción 1 ³ | 1,49071198 |
| | Opción 2 ³ | 1,02597835 |
| | Opción 3 ¹ | 3,29140294 |
| | Opción 4 ³ | 1,49071198 |
| Campo 15: Machine utilization (Utilización de las máquinas) | Opción 1 ¹ | 2,5819889 |
| | Opción 2 ¹ | 2,5819889 |
| Campo 16: Number of operators (Número de operarios) | Opción 1 ² | 2,23606798 |
| | Opción 2 ¹ | 2,92770022 |
| Campo 17: Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) | Opción 1 ¹ | 3,65148372 |
| | Opción 2 ³ | 1,49071198 |
| Campo 18: Production capacity (Capacidad de producción) | Opción 1 ³ | 1,02150784 |
| | Opción 2 ¹ | 3,46410162 |
| | Opción 3 ³ | 1,66904592 |

| | | |
|--|-----------------------|------------|
| Campo 19: Productivity (Productividad) | Opción 1 ¹ | 3,90266181 |
| | Opción 2 ³ | 1,4832397 |

Nota: 1=Se rechaza H_0 , y se acepta la opción ya que tiene mayor significancia. 2= Se rechaza H_0 , sin embargo, existe otra opción con mayor significancia. 3= No se rechaza H_0 , no se acepta la opción.

Anexo C. Tabla de KPI's a utilizar para medir la influencia de la distribución de planta en la productividad de empresas textiles.

| Campo | KPI | Fórmula | Referencia |
|--|--|---|--------------------------------|
| Campo1: Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) | Eficiencia global de los equipos | Disponibilidad*Eficiencia*Calidad | (Quispe-Roncal et al., 2020) |
| | | Number of good parts/Number of inspected parts | |
| Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) | First time pass yield (Rendimiento de la primera pasada) | Número de piezas buenas/Número de piezas inspeccionadas | (Khan & Bilal, 2019) |
| | | Total length of the routes which connect the machines | |
| Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) | Travel distance of materials (Distancia recorrida por los materiales) | Distancia total de las rutas que conectan a las máquinas | (Kovács, 2019), (Kovács, 2020) |
| | | Loss of Raw Material (month)/Total Raw Material | |
| Campo 5: Material efficiency (Eficiencia del material) | Material consumption (Consumo del material) | Consumption (month) Desperdicio de materia prima (mes)/Consumo total de Materia prima (mes) | (Paduloh & Hardi, 2020) |

| | | | |
|---|--|--|--|
| Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción) | Production Lead time (Tiempo Total de Producción) | The time that a product spent in the production system Tiempo del producto en la línea productiva | (Brás & Moura, 2022), (Ali Naqvi et al., 2016), (Cebeci, 2009) |
| Campo 8: Process Performance (Rendimiento del Proceso) | Line efficiency (Eficiencia de la línea) | Total processing time/(Numbers of tasks)*Numbers of workstations) Tiempo de procesamiento total/(Número de tareas*Número de estaciones de trabajo) | (Brás & Moura, 2022) |
| Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) | Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) | (Predicted cycle time between the completed parts)*Overall parts produced in the batch)/Amount of time required in producing the batch (Tiempo de ciclo planificado para piezas terminadas*Piezas totales | (Palango et al., 2022) |
| Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción) | Production effectiveness (Efectividad de la producción) | (Khan & Bilal, 2019) | |

producidas en el lote)/Tiempo
necesario para producir el lote

| | | |
|---|---|---|
| Campo 11: Space utilization (Utilización del espacio) | Space utilization efficiency (Eficiencia de la utilización del espacio) | (Palango et al., 2022) |
| Campo 12: WIP (Trabajo en proceso) | WIP (Trabajo en proceso) | (Gyulai et al., 2016), (Kusrini et al., 2019) |
| Campo 13: Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) | Worker efficiency (Eficiencia del trabajador) | Actual worker operating time/ Actual worker attendance time Tiempo de operación del trabajador/ Tiempo de estancia en planta del trabajador (Khan & Bilal, 2019) |
| Campo 15: Machine utilization (Utilización de las máquinas) | Utilization efficiency (Eficiencia de la utilización) | Actual unit manufacturing time/Actual unit busy time Tiempo real de fabricación de la unidad/ Tiempo de ocupación real de la unidad (Khan & Bilal, 2019) |
| Campo 16: Number of operators (Número de operarios) | Number of workers (Número de trabajadores) | (Kovács, 2020) |

| | | |
|--|---|---|
| Campo 17: Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) | Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) | (Brás & Moura, 2022), (Kovács, 2020) |
| Campo 18: Production capacity (Capacidad de producción) | Production capacity (Capacidad de producción) | (Hlyal et al., 2015) |
| Campo 19: Productivity (Productividad) | Production rate (Tasa de producción) | Total production/time used Producción total/ Tiempo utilizado (Ali Naqvi et al., 2016), (Primo-Valdiviezo et al., 2022) |

Anexo D. Variables y consideraciones para el levantamiento de datos del estado actual

| | Indicador | Variables | Consideraciones |
|---|---|--|---|
| 1 | Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) | <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo total de fabricación en las máquinas - Tiempo total disponible de la maquinaria - N° de Productos defectuosos - N° total de productos producidos - Producción Planificada | Calculado solo para las máquinas automáticas debido a que el procesamiento en las demás máquinas depende de la habilidad de los operarios |
| 2 | Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) | <ul style="list-style-type: none"> - N° de Productos defectuosos - N° total de productos producidos | Aplicado en la sección de terminado |
| 3 | Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) | <ul style="list-style-type: none"> - Diagrama de hilos de los productos - Distribución de la planta | Distancia desde la recepción de materia prima hasta el despacho del producto |
| 5 | Material efficiency (Eficiencia del material) | <ul style="list-style-type: none"> - Kg de desperdicio de materia prima - Kg de materia prima utilizada | Aplicado en la sección de corte |
| 7 | Production Lead time (Tiempo Total de Producción) | <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo necesario para la producción de un producto | Tiempo considerado desde el ingreso a la sección de corte hasta la salida de la sección de empaque |
| 8 | Process Performance (Rendimiento del Proceso) | <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo total de producción por producto - N° de Tareas - N° de Estaciones de Trabajo | Calculado para cada tipo de producto |
| 9 | Duration of travel between activities | <ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de traslado entre las actividades - Ruta de procesamiento | Tiempo promedio entre actividades |

(Tiempo de transporte
entre actividades)

| | | | |
|---|--|---|---|
| | | - Tiempo de ciclo planificado | Calculado para cada tipo de |
| 1 | Production effectiveness (Efectividad de la producción) | - N° Total de Piezas Producidas | producto. |
| 0 | | - Tiempo Necesario para producir las piezas | Tiempo de ciclo planificado de 22 y 18 min según el producto |
| 1 | Space utilization (Utilización del espacio) | - Distribución de planta | Área total ocupada |
| 1 | WIP (Trabajo en proceso) | - Cantidad de productos entre las secciones | Medición realizada a una hora del día |
| | | - Tiempo total del trabajador en planta | Calculado para 7 operarios: - 1 Corte - 1 Confección - 1 en máquina plumonera - 1 Acolchadora Horizontal - 1 Acholdadora Vertical - 2 Sección Cerrado |
| 1 | Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) | - Tiempo de operación del trabajador | |
| 1 | Machine utilization (Utilización de las máquinas) | - Tiempo real de fabricación | Solo para las máquinas |
| 5 | | - Tiempo de ocupación de la unidad | Acolchadora |
| 1 | Number of operators (Número de operarios) | - Número de operarios dentro de la línea productiva | |
| 6 | Number of workstations (Número de estaciones de trabajo) | - Número de estaciones de trabajo en la línea productiva | |

| | | | |
|--------|--|-------------------------------------|--|
| | | - Tiempo estándar de cada actividad | Establecer el tiempo estándar para cada actividad y calcular la capacidad por categoría de producto y un mix |
| 1 8 | Production capacity (Capacidad de producción) | - Horario de trabajo de la planta | |
| | | - N° Total de piezas producidas | Calculado en tres secciones: - Sección Corte -Sección Acolchado -Sección Empaque |
| 1 9 | Productivity (Productividad) | - Tiempo Total del turno de trabajo | Ha sido necesario la elaboración de una hoja de control de producción |

Anexo E. Resultados del análisis de la varianza (ANOVA) y supuesto de normalidad.

| Campo | P-valor ANOVA | P-valor | Supuesto de normalidad |
|---|--------------------------|--|-------------------------------|
| | | | |
| Campo1: Overall equipment efficiency (Eficiencia global de los equipos) | 0,523 | Si cumple el supuesto de normalidad (P valor > 0,100) ³ | |
| Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) | 0,016 | No cumple el supuesto normalidad (P valor<0,010) ² | |
| Campo 3: Material Travel distance (Distancia recorrida por el material) | 0,000 | Si cumple el supuesto de normalidad (P valor =0,058) ¹ | |
| Campo 7: Production Lead time (Tiempo Total de Producción) | 0,000 | Si cumple el supuesto de normalidad (P valor > 0,100) ¹ | |
| Campo 8: Process Performance (Rendimiento del Proceso) | 0,62 | No cumple el supuesto de normalidad (P valor= 0,026) ² | |
| Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) | 0,02 | No cumple el supuesto de normalidad (P valor < 0,010) ² | |
| Campo 10: Production effectiveness (Efectividad de la producción) | 0,000 | Si cumple el supuesto de normalidad (P valor > 0,100) ¹ | |
| Campo 12: WIP (Trabajo en proceso) | 0,039 | No cumple el supuesto de normalidad (P valor < 0,010) ² | |
| Campo 13: Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) | 0,992 | No cumple el supuesto de normalidad (P valor = 0,033) ² | |

| | | |
|--|-------|---|
| Campo 15: Machine utilization (Utilización de las máquinas) | 0,264 | No cumple el supuesto de normalidad (P valor < 0,010) ² |
| Campo 18: Production capacity (Capacidad de producción) | 0,697 | Si cumple el supuesto de normalidad (P valor > 0,100) ³ |
| Campo 19: Productivity (Productividad) | 0,985 | Si cumple el supuesto de normalidad (P valor > 0,100) ³ |

Nota: 1= Se rechaza H_0 , es decir existe suficiente evidencia estadística para decir que si existe una diferencia entre el estado actual y propuesto. 2= Realizar la prueba Kruskal Wallis. 3= No se rechaza la H_0 , es decir no existe suficiente evidencia estadística para decir que hay una diferencia entre los valores actuales y propuestos.

Anexo F. Resultados de la prueba Kruskal Wallis

| Campo | P-valor de la prueba Kruskal | Se rechaza Ho ¹ | No se rechaza Ho ² |
|---|---|-------------------------------|----------------------------------|
| | Wallis | | |
| Campo 2: Quality:Good products (Calidad: Productos correctos) | No ajustado para empates=0,016 Ajustado para empates=0,007 | X | |
| Campo 8: Process Performance (Rendimiento del Proceso) | No ajustado para empates=0,691 Ajustado para empates=0,691 | X | |
| Campo 9: Duration of travel between activities (Tiempo de transporte entre actividades) | No ajustado para empates=0,001 Ajustado para empates=0,001 | X | |
| Campo 12: WIP (Trabajo en proceso) | No ajustado para empates=0,028 Ajustado para empates=0,024 | X | |
| Campo 13: Worker efficiency (Eficiencia de la mano de obra) | 0,406 | X | |
| Campo 15: Machine utilization (Utilización de las máquinas) | No ajustado para empates=0,825 Ajustado para empates=0,824 | X | |

Nota: 1= Se rechaza Ho, es decir existe suficiente evidencia estadística para decir que si existe una diferencia entre el estado actual y propuesto. 2= No se rechaza la Ho, es decir no existe suficiente evidencia estadística para decir que hay una diferencia entre los valores actuales y propuestos

Anexo G. Vídeo de la simulación realizada

<https://drive.google.com/file/d/1VEDiPP0D6Y58a7adSDRK-2RhUp21TnIU/view?usp=sharing>