



**UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**Modelo de Estandarización del Trabajo y Rediseño del Layout para**

**Incrementar la Eficiencia en los Procesos de Ensamble**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Industrial**

**AUTOR(ES)**

Ferrer Rosales, Jared Brillit (0000-0002-1549-7967)

Magallan Tejada, Vanessa (0000-0001-8274-8001)

**ASESOR**

Altamirano Flores, Ernesto (0000-0002-8634-9689)

**Lima, 08 de agosto de 2020**

## *DEDICATORIA*

*A nuestros familiares, por ser la inspiración y soporte durante nuestra vida universitaria.*

## AGRADECIMIENTOS

A los profesores Gino Viacava y Ernesto Altamirano por su asesoramiento en este proyecto.

A Yrving Maya por su asesoramiento como experto en el área de estudio del proyecto.

## RESUMEN

El presente estudio aborda el problema de ineficiencia en una línea de ensamble de sanitarios causados por un 23.58% de tiempo improductivos, movimientos ineficientes en un 45.25% y un 31.16% en exceso de desplazamiento de la pieza. En consecuencia, el cumplimiento del plan de producción se ve afectado mensualmente y ocasiona una pérdida de oportunidad de S/. 994,074.00, que representa aproximadamente el 21% de los ingresos mensuales por producción del producto principal One Piece. En este contexto, el siguiente caso de estudio propone un modelo de estandarización de trabajo integrado por las técnicas de Ingeniería de Métodos. Adicionalmente, se complementan estas técnicas con el rediseño del layout mediante la Planificación Sistemática del Layout (SLP) con el objetivo de optimizar la eficiencia de línea y contribuir a la literatura, ya que no existe una cantidad considerable de estudios relacionados al área de ensamble y al sector de productos sanitarios. El modelo es validado mediante una simulación en el software Arena y se obtiene como resultado el incremento de la eficiencia en un 14% aproximadamente. Asimismo, se analiza un flujo de caja económico y un flujo de caja financiero de los cuales se obtiene un índice de rendimiento (RBC) de S/. 5.01 y S/. 18.11 respectivamente.

Palabras clave: “balance de línea”; sanitarios; layout; métodos; eficiencia.

## Work Standardization Model and Layout Redesign to Increase Efficiency in Assembly Processes

### ABSTRACT

This study addresses the problem of inefficiency in a sanitary assembly line caused by 23.58% of unproductive time, inefficient movements by 45.25% and 31.16% in excess of displacement of the piece. Consequently, compliance with the production plan is affected every month and it causes a loss of opportunity of S /. 994,074.00, which represents approximately 21% in the monthly production income of the main product One Piece. In this context, the following case study proposes a work standardization model made up of Method Engineering techniques. Additionally, these techniques are complemented with the layout redesign through the Systematic Layout Planning (SLP) in order to optimize the line efficiency and to contribute to the literature, since there is not a considerable amount of studies related to the area of assembly and to the sanitary products sector. The model is validated by a simulation in the Arena software and the result is an increase in efficiency of 14% approximately. Likewise, an economic cash flow and a financial cash flow are analyzed, from which a performance index (RBC) of S /. 5.01 and S /. 18.11 respectively.

Keywords: “Line-balancing”; toilet; layout; efficiency; methods

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b>	<b>2</b>
2.1	PROBLEMAS RELACIONADOS A LA EFICIENCIA EN UNA LÍNEA DE ENSAMBLE	2
2.2	INGENIERÍA DE MÉTODOS Y LA ESTANDARIZACIÓN DEL TRABAJO	2
2.3	PLANIFICACIÓN SISTEMÁTICA DEL LAYOUT	3
2.4	INGENIERÍA DE MÉTODOS Y BALANCE DE LÍNEA	3
<b>3</b>	<b>MODELO DE ESTANDARIZACIÓN DEL TRABAJO Y REDISEÑO DEL LAYOUT INTEGRADO</b>	<b>5</b>
3.1	FUNDAMENTO	5
3.2	MODELO PROPUESTO	5
3.3	DETALLE DEL MODELO	5
3.3.1	Proceso propuesto	5
3.3.1.1	Estudio de Tiempos	6
3.3.1.2	Estudio de Métodos	6
3.3.1.3	Estandarización y Balance de Línea	7
3.3.1.4	Planificación Sistemática del Layout	8
3.4	INDICADORES DEL MODELO	9
<b>4</b>	<b>VALIDACIÓN</b>	<b>10</b>
4.1	DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE VALIDACIÓN	10
4.2	ESTUDIOS PREVIOS	10
4.3	DISEÑO DE VALIDACIÓN	10
4.3.1	Simulación en ARENA	10
4.3.2	Validación Económica	11
4.3.3	Análisis de Resultados	12
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCIAS</b>	<b>14</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Distribución de los atributos.....	11
Tabla 2 Resultados de la simulación en Arena.....	11
Tabla 3 Resultados de la validación económica.....	12

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Flujo del Modelo Propuesto .....	5
Figura 2. Tiempos y número de actividades actuales por estación .....	6
Figura 3. Tiempos y actividades obtenidos con el estudio de tiempos y métodos .....	7
Figura 4. Balance de Línea Propuesto .....	8
Figura 5. Diseño del área actual .....	8
Figura 6. Diseño del área propuesto .....	9
Figura 8. Resultados Finales.....	13



## 1 INTRODUCCIÓN

El adecuado diseño del trabajo y balance en las líneas de ensamble son parte de los grandes retos que tienen, actualmente, las diferentes líneas de producción. Uno de los principales inconvenientes en las operaciones manufactureras es la complejidad para producir productos de gran calidad con bajos costos, de modo que la demanda pueda ser atendida de manera eficiente y el flujo de materiales sea el más adecuado [1]. Dichos problemas, que causan ineficiencia en la producción, repercuten negativamente en el cumplimiento de la demanda del mercado. Por ejemplo, en el sector de productos sanitarios peruanos, existe una brecha entre la oferta y demanda de aproximadamente 65%, debido a que la mayor parte de los procesos son manuales y no cuentan con adecuados métodos de trabajo [2].

En este sentido se han realizado diversos aportes relacionados a problemas de ineficiencia [3]. emplearon la Planificación Sistemática del Layout (SLP) y balance de línea para optimizar una línea de producción de vehículos. La propuesta analizó el flujo de material, la relación entre las diferentes actividades y otras limitaciones propias de la empresa en estudio. Además, los autores plantearon y elaboraron diversos diseños de layout y mediante criterios del SLP determinaron la mejor opción. Como resultado, se obtuvo un incremento de la eficiencia general en 64%. A nivel nacional, [4] realizó un estudio en una planta de sanitarios, en el cual analizó los puntos críticos del proceso de colaje con el fin de incrementar el nivel de producción en la planta; y, elevar la eficiencia general. En la propuesta de aplicación, planteó el Estudio de Métodos y el aprendizaje en el puesto de trabajo, que mejoraron el nivel de rotura y nivel de desperdicios en el proceso mencionado.

El presente caso de estudio se desarrolla en el área de ensamble de una planta de sanitarios con el objetivo de lograr solucionar el problema principal de dicha área; y contribuir con un modelo de solución aplicable a empresas con procesos similares. Asimismo, se pretende contribuir al estado de arte, ya que no se ha encontrado una cantidad considerable de estudios relacionados al sector de productos sanitarios y los procesos de ensamble. En tal sentido, la propuesta de investigación consta de un modelo de estandarización integrado por las técnicas de Ingeniería de Métodos I y II; y, la Planificación Sistemática del Layout.

## 2 ESTADO DEL ARTE

### 2.1 Problemas relacionados a la eficiencia en una línea de ensamble

Para lograr balancear una línea de ensamble se debe tener en cuenta el o los tipos de problema presentes, así como también el tipo de línea de ensamble. [5] realizaron un estudio cualitativo y explicaron que los problemas de balance en una línea de ensamble pueden ser de dos tipos. El primero, se denomina problema de un lado de la línea (ALBP-1S) y considera que cada tarea es ejecutada en un determinado número de máquinas asignadas a una determinada estación. El otro problema se centra en líneas de ensamble para productos muy grandes y se define como restricciones presentes en ambos lados de una línea de ensamble línea (ALBP-2S). Como resultado se obtiene diferentes métodos de solución para cada tipo de problema. En el caso del estudio para ALBP-1S, se tiene como objetivo minimizar el número de estaciones y para ALBP-2S se espera minimizar el desplazamiento total y el número de estaciones. los. [6] analizó los problemas presentes en el proceso de ensamblaje de bomba y destacó que el no contar con los métodos adecuados de trabajo, impide una correcta utilización y movimiento de los materiales, por lo cual, se generan cuellos de botella en la línea de ensamble. En este caso se plantea el value stream mapping (VSM) para incrementar la eficiencia de la línea al tener mayor visibilidad de los procesos. Adicionalmente, definido los procesos críticos en el VSM se determina la técnica más adecuada de solución. En dicho caso, se logró un incremento de 13% en la eficiencia al eliminar actividades que no agregan valor y reduciendo operarios.

### 2.2 Ingeniería de Métodos y la Estandarización del Trabajo

Dentro de la industria de productos cerámicos, [7] encontraron que la estandarización del trabajo (SW) minimiza y controla la variación en la producción al disminuir el tiempo de ciclo de los procesos mediante la formulación del takt time y el estudio de métodos, ya que se logra identificar aquellos procesos que deberían eliminarse o mejorarse. Al optimizar la forma de realizar las tareas, se redujeron las NVAs en un 26.17%, lo cual reduce el tiempo de ciclo e impacta en la eficiencia del proceso. De manera similar la SW fue aplicada por [8] en una línea de ensamble de chasis del sector automotriz brasileiro logrando una reducción el tiempo de ciclo en 15% y el movimiento innecesario en 34.5%. Diversos estudios aplican esta técnica dentro de un ciclo de mejora continua donde se emplean herramientas de Lean manufacturing como el VSM que sirven apoyo para identificar los puntos de mejora y determinar la técnica de solución más adecuada[9]. En caso de que las

causas del problema se relacionen directamente con el desempeño del operario, se elaboran los cuadros de métodos de trabajo y actividades de las máquinas y se proporciona una guía a los operarios para su trabajo diario hasta que dominen la forma de trabajo, logrando un incremento de la producción en porcentajes aceptables como 6.5% como en el caso de estudio de [10].

### 2.3 Planificación Sistemática del Layout

La eficiencia general de una planta es afectada de manera significativa por el diseño y distribución de sus áreas. [11] Planteó un rediseño del área en una planta de producción de componentes electrónicos con el fin de incrementar la eficiencia del proceso productivo y optimizar el espacio para la introducción de nuevos procesos. En este caso, empleo la Planificación Sistemática del Layout (SLP) como técnica y empleo el software CRAFT para evaluar las mejores opciones derivadas del SLP. De las diversas alternativas de diseño, la más efectiva logró disminuir en 40% los tiempos de producción, optimizó en un 30% las distancias entre estaciones y logró un ahorro de costos en 49%. [12] indican que el rediseño del layout se ve influenciado por la intensidad del flujo de material y el tipo de producto. Es decir, existen productos que requieren múltiples operaciones de ensamble; lo cual obliga a cumplir con el principio de producción en el mismo sitio y limita el diseño del área a células de producción en forma de U o O. Además, se debe considerar que las alternativas de diseño deben evaluarse respecto al número de departamentos adyacentes al centro logístico y la minimización general del flujo de material [13]. Una de las ventajas del SLP es la flexibilidad al permitir la evaluación de diversas alternativas de diseño, respetando la relación entre actividades. [14] optimizó el diseño de las instalaciones del área de costura en una planta textil mediante el SLP y un enfoque ergonómico. De este modo, se obtiene mejores resultados al disminuir distancias con el SLP y optimizar el desempeño del operario al mejorar las condiciones ergonómicas para los operarios.

### 2.4 Ingeniería de Métodos y Balance de Línea

[15] presentaron un método para balancear una línea de ensamble del sector automotriz. Los autores indican que el desbalance de línea ocurre cuando, mientras algunas actividades sufren por una acumulación de trabajo, otras subestaciones tienen altos periodos de inactividad, lo cual origina tiempos muertos elevados tiempos de producción y un alto tiempo de ciclo. Esto se debe a que el balance de línea, en su análisis toma en cuenta a los inventarios de producto en proceso, los tiempos de fabricación y las entregas parciales de

producción. Los autores proponen un enfoque híbrido (combinación principalmente de actividades y procesos de las metodologías y guías de buenas prácticas) para la reducción de mudas de las diferentes actividades. Asimismo, integran la metodología lean con la implementación de un software y logran balancear la línea de ensamble, con un adecuado rediseño. Como resultado se logró la reducción del tiempo takt de 1.76 a 1 minuto un flujo más continuo y con menos restricciones debido al nuevo layout. El estudio de métodos complementa el balance de línea, pues al ejecutar mejor las tareas, se disminuye la carga de trabajo y los tiempos. Esta técnica también puede desarrollarse antes o después del balance de línea, para incrementar más la eficiencia [16]. [17] lograron incrementar en un 6% la eficiencia en una empresa de impresión al integrar el balance de línea, estandarización del trabajo y diseño del layout. Ellos realizaron un análisis y optimización del layout, que disminuyó las distancias y el tiempo de recorrido entre área en 37.2% y 84.3% respectivamente. La secuencia y métodos de trabajo disminuyeron los tiempos de operación en 16.57% y el balance de línea permitió que el flujo de material se aún más rápido, lo cual permitió el incremento de la eficiencia del 85% inicial respecto a un 91%.

En síntesis, las técnicas relacionadas con la optimización de los métodos de trabajo y las condiciones del espacio de trabajo permiten incrementar la productividad de los operarios con un menor costo, al aprovechar de mejor manera los recursos y una mejor calidad del producto final.

### 3 MODELO DE ESTANDARIZACIÓN DEL TRABAJO Y REDISEÑO DEL LAYOUT INTEGRADO

#### 3.1 Fundamento

El objetivo principal de la investigación es incrementar la eficiencia en los procesos de ensamble del producto principal denominado One Piece, el cual es un sanitario que unifica taza y tanque; por ello se propone un modelo que integra las técnicas de Ingeniería de Métodos I, que conlleva un estudio de métodos y tiempos. Luego de ello, se realiza Ingeniería de Métodos II, que consiste en la estandarización de procesos y el balance de línea. Finalmente, se desarrolla la Planificación Sistemática del Layout. En este sentido, el modelo fue adaptado en base a los estudios realizados por [17] y [14], quienes propusieron las mismas técnicas en contextos similares y de manera independiente.

#### 3.2 Modelo propuesto

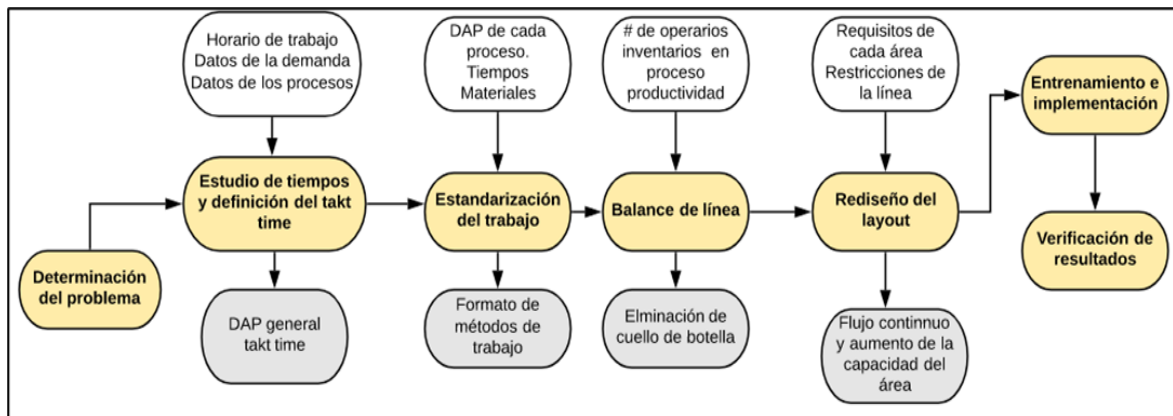


Figura 1. Flujo del Modelo Propuesto

#### 3.3 Detalle del Modelo

##### 3.3.1 Proceso propuesto

El desarrollo del proyecto inicia con la Ingeniería de Métodos. Esta metodología se parte en tres fases: La primera se basa en el estudio de los tiempos para determinar las estaciones y tareas con mayor tiempo improductivo. Luego, se identifica, mediante el estudio de métodos, qué tareas no están siendo realizadas de la manera óptima; y, se procede con la creación de nuevos estándares para obtener los métodos de trabajo más adecuados. Finalmente, tras haber identificado los cuellos de botella, se aplica el balance de línea con el fin de nivelar la carga de trabajo y disminuir el tiempo de ciclo.

### 3.3.1.1 Estudio de Tiempos

El estudio de tiempos fue realizado en el área de ensamble, que consta de cuatro estaciones: Clasificado, Resane, Pruebas Hidráulicas y Empaquetado. En el siguiente gráfico se observa el número de actividades y tiempos actuales de los procesos.

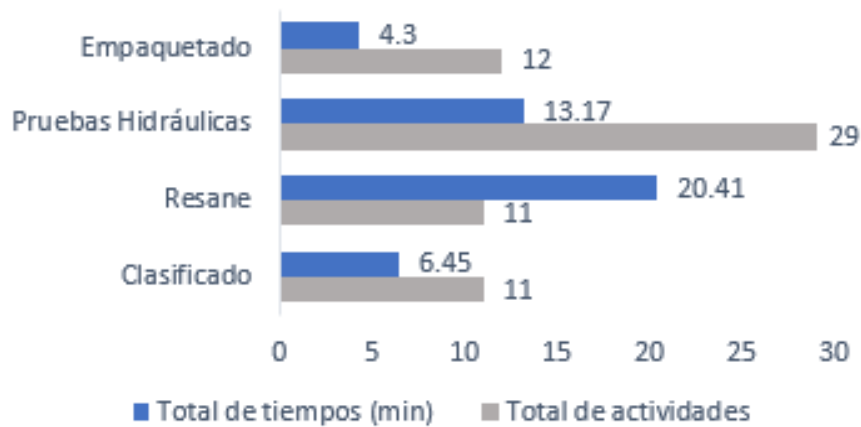


Figura 2. Tiempos y número de actividades actuales por estación

De los resultados obtenidos mediante el estudio de métodos, se concluye que la estación de Pruebas Hidráulicas es la que tiene un mayor número de actividades; y, la misma estación junto con la de Resane tienen los tiempos más altos en sus procesos.

Teniendo en cuenta esta información, se procedió a realizar el estudio de métodos en toda el área de ensamble, con el fin de encontrar nuevos métodos y asignación de tareas que permitan reducir los tiempos y número de actividades en cada sub área.

### 3.3.1.2 Estudio de Métodos

Como resultado de la primera fase se tiene una disminución de 29.69% en tiempo y 14.29% en número de actividades. De esta manera, se cumple con el principio de “hacer más con menos”, de la estandarización del trabajo. Los cambios más importantes realizados en esta etapa fueron:

- Dividir las tareas entre el área de clasificado y resane: se propone que los operarios de clasificado realicen el calzado de tapa; es decir, los resanes básicos y solo envíen el producto en caso de encontrarse mayores defectos en la pieza. De este modo, se disminuye la carga de trabajo para el área de resane.
- En la sub área de Pruebas Hidráulicas se dan cuatro procesos importantes: instalar accesorio, la prueba hidráulica y secado. Los nuevos métodos proponen vincular la secuencia de actividades con Empaquetado para crear la secuencia correcta y reducir

el tiempo de algunas actividades, ya sea lineal o en paralelo para incrementar la producción.

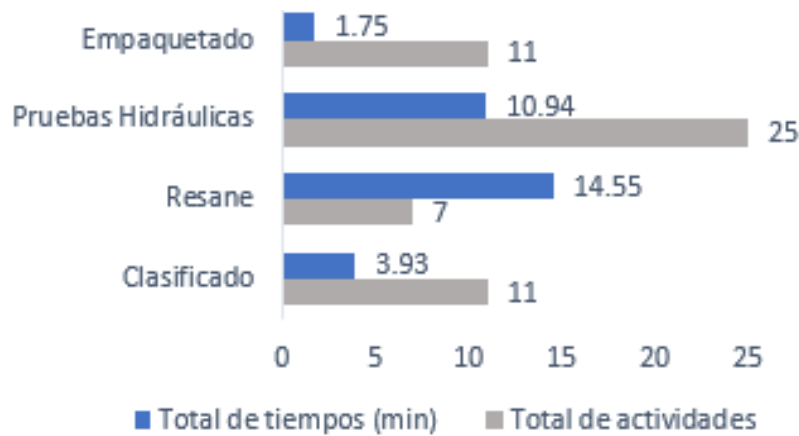


Figura 3. Tiempos y actividades obtenidos con el estudio de tiempos y métodos

Luego de tener métodos adecuados de trabajo, se obtuvo un tiempo de ciclo que logra cumplir con el plan de producción actual, pero que no aprovecha la capacidad total del área y; además, no sería suficiente para el crecimiento proyecto por ventas de 43% aproximadamente. Por lo tanto, se procede con el desarrollo del balance de línea para agilizar el flujo del producto.

### 3.3.1.3 Estandarización y Balance de Línea

A partir del incremento en el plan de producción del 43%, se obtiene que el área Horno entrega las piezas cada 3.51 minutos y, para igualar dicho tiempo se plantea una correcta agrupación de actividades e incorporar una máquina prueba al vacío a base de presión de aire para que optimice el proceso de inspección de filtros de la pieza.

Se agrupan las actividades, que pueden ser realizadas por los mismos operarios, de la siguiente manera:

- Clasificado (A) + Calzado de tapa (B): 2 operarios
- Resane (C): 3 operarios
- Prueba al vacío (D) + Instalar accesorio (E) + Prueba Hidráulica (F): 2 operarios.
- Secado (G) y empaquetado (H): 1 operario

Finalmente, esta nueva agrupación de las sub área permite balancear la línea de ensamble y disminuir el tiempo de ciclo (ver figura 4).

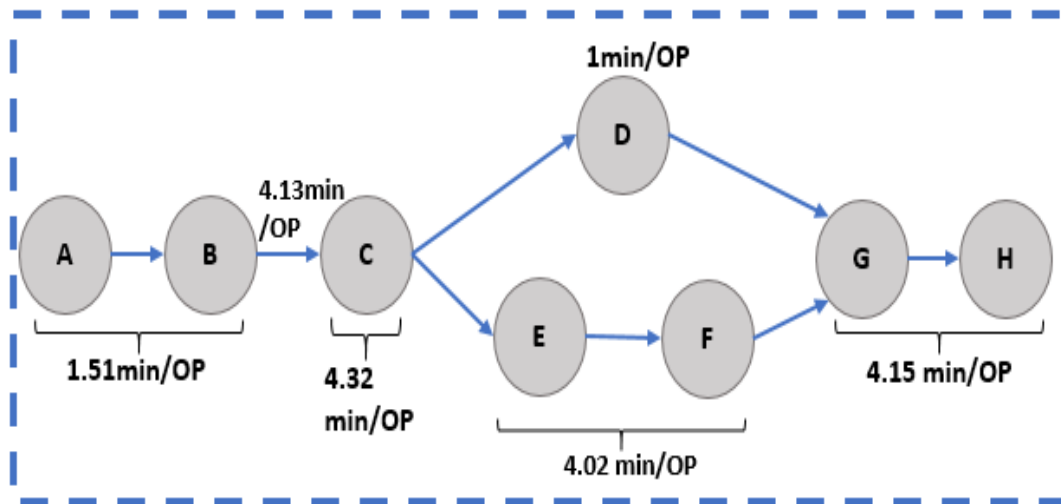


Figura 4. Balance de Línea Propuesto

Como resultado del balance de línea, se logra obtener un tiempo de ciclo de 4.32 min/OP. Esto permite cumplir con el plan de producción estipulado.

#### 3.3.1.4 Planificación Sistemática del Layout

Con el balance de línea se termina la aplicación de la Ingeniería de Métodos y se inicia con el rediseño del área mediante el SLP.

En esta fase, se busca rediseñar el área para aprovechar mejor los espacios, reducir cruces con los flujos de otros productos para evitar choques que generen pérdida de calidad y adaptar el plan del balance de línea. Actualmente, el área de ensamble cuenta con la siguiente distribución:

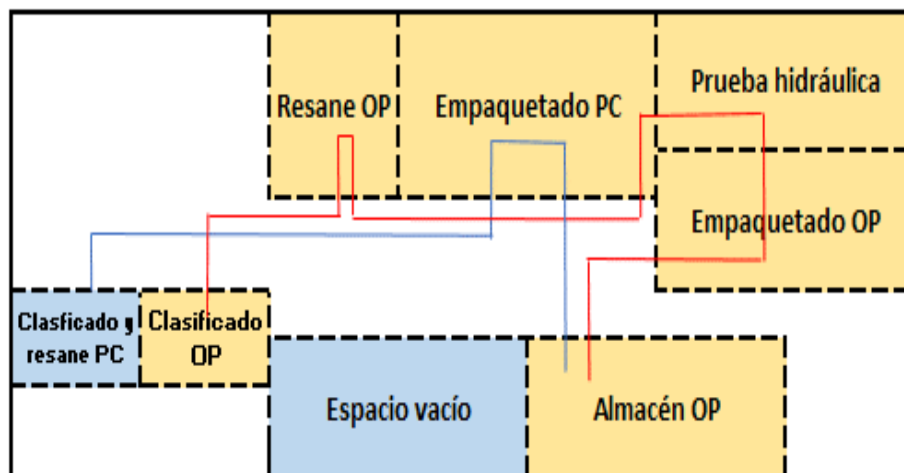


Figura 5. Diseño del área actual



Tras desarrollar, el diagrama de distancias y relacional de actividades; se plantea el nuevo diseño:

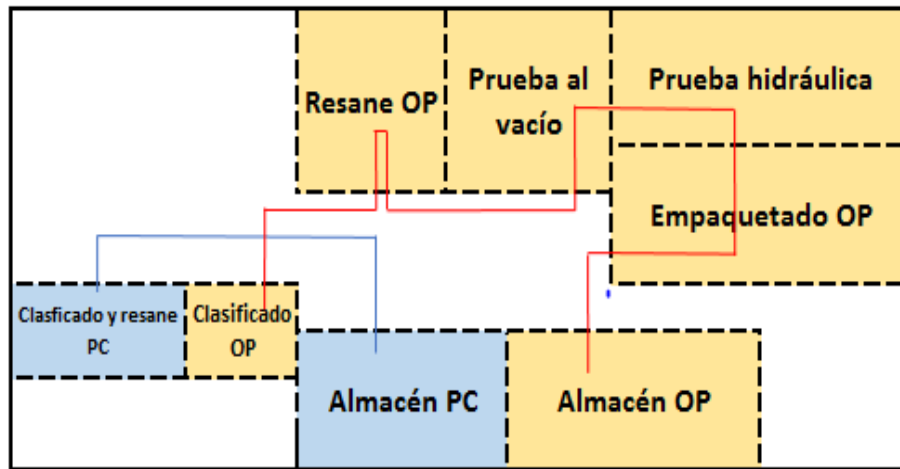


Figura 6. Diseño del área propuesto

Se debe considerar que en el área de Clasificado se realizará la actividad como tal y el calzado de tapas. Asimismo, en Prueba hidráulica también se encuentran presentes las actividades de instalar accesorio y secado.

El nuevo layout permite que no existan cruces con los demás productos y se aproveche el espacio existente. Con la nueva propuesta, la prueba al vacío se realiza donde anteriormente se empaquetaban las piezas chicas, ya que estas podrán ser empaquetadas y almacenadas en el espacio vacío.

### 3.4 Indicadores del Modelo

Para medir el resultado del proyecto, se plantean los siguientes indicadores relacionados con la eficiencia:

- Calidad:

Este indicador medirá el incremento en las piezas de condición estándar que se obtengan luego de la implementación de la propuesta comparando el resultado con las cantidades de piezas estándar obtenidas actualmente.

$$\left( \frac{\# \text{ piezas estándar actuales} - \# \text{ piezas estándar después}}{\# \text{ piezas estándar actuales}} \right) * 100$$

- Exactitud de producción:

Este indicador medirá el cumplimiento del plan de producción propuesto por la empresa.

$$\left( \frac{\text{Cantidad de producción}}{\text{Cantidad planificada}} \right) * 100$$

- Eficiencia:

Este indicador medirá la mejora global del problema, teniendo en cuenta variables como número de piezas, tiempos y costos.

$$\left( \frac{\text{Result. alcanzado} * T_{\text{invertido}} * \text{Cost. estimado}}{\text{Result. esperado} * T_{\text{previsto}} * \text{Cost. real}} \right)$$

## 4 VALIDACIÓN

### 4.1 Descripción del escenario de validación

El escenario de validación se centra en toda el área de ensamble de sanitarios en base al flujo de recorrido del proceso de ensamble del producto principal denominado One Piece y se realiza un análisis de la situación actual vs el modelo propuesto.

### 4.2 Estudios Previos

El diseño de la validación propuesta se basa en los estudios realizados por [14] que emplearon la simulación mediante ARENA para evaluar diferentes propuestas de solución. Asimismo, para la validación económica se tomó en cuenta la investigación realizada por [18] quienes consideraron datos financieros históricos nacionales e internacionales para obtener un cálculo del costo de oportunidad del capital más fiable.

### 4.3 Diseño de validación

Para validar la efectividad del modelo se realizó una simulación mediante el software ARENA y una validación económica.

#### 4.3.1 Simulación en ARENA

En este caso se realizó tres corridas en la simulación. La primera representa el estado inicial del área de ensamble, la segunda con una aplicación de Ingeniería de Métodos y la tercera una muestra los resultados de la aplicación integral de la propuesta con las dos metodologías propuestas.

A continuación, se muestran los atributos de la simulación y la distribución para cada uno de ellos, los cuales fueron obtenidos mediante Input Analyzer.

Tabla 1  
*Distribución de los atributos*

ATRIBUTO	DITRIBUCIÓN
Tiempo de llegada de las piezas al área (TELL)	Norm (6.3, 0.0378).
Tiempo de Clasificado (TCLA)	Norm (6.45, 0.78).
Tiempo de Resane (TRES)	Norm (20.3, 0.783).
Tiempo de Pruebas Hidráulicas (TPH)	Norm (13.2, 0.286)
Tiempo de empaquetado (TEMP)	Norm (4.26, 0.085).

Los resultados de la simulación muestran que hubo un incremento en el número de productos que se pueden atender por un turno de trabajo y sus utilidades brutas en la situación inicial y en cada una de las mejoras.

Tabla 2  
*Resultados de la simulación en Arena*

	Tiempo de ciclo	%Disminución
Inicio	<b>8.71</b>	
Con Ing. Métodos	<b>6.37</b>	<b>36.73%</b>
Con Ing. Métodos y SLP	<b>4.35</b>	<b>100.23%</b>

#### 4.3.2 Validación Económica

La validación económica resulta fundamental para verificar los resultados económicos del proyecto y decidir si este es viable o no. Los beneficios son tomados como resultado del incremento en la producción y las ventas; y, los egresos contienen los gastos en la investigación de campo, la aplicación de todas las técnicas y la compra de una máquina para optimizar el proceso de prueba al vacío.

En este sentido, se analiza dos escenarios: El primero toma el supuesto de un financiamiento del proyecto por parte de la empresa y se desarrolla mediante el flujo de caja económico. El

segundo escenario se realiza con la intención de mostrar la efectividad de la propuesta con un financiamiento externo para la compra de la máquina de verificación, la cual representa más del 50% del costo total de la propuesta. El estudio trabaja con costo de oportunidad del capital COK de 13,69% que fue calculado en base a registros internacionales y mediante la siguiente fórmula:

$$COK = Rf + B(Rm - Rf) + Rp$$

$$COK = 1.9\% + 1.6(8.6\% - 1.9\%) + 1.07\%$$

$$COK = 13,69\%$$

Los resultados finales obtenidos se muestran en la tabla 3 para el flujo de caja efectivo y financiero.

Tabla 3  
*Resultados de la validación económica*

	VAN	TIR	RBC
Flujo de caja efectivo	S/ 187,637.61	65%	5.01
Flujo de caja financiero	S/ 87,967.15	70%	18.11

En ambos casos los índices de rentabilidad validan económicamente el proyecto al tener un VAN mayor a cero, una TIR superior al COK y un RBC mayor a 1.

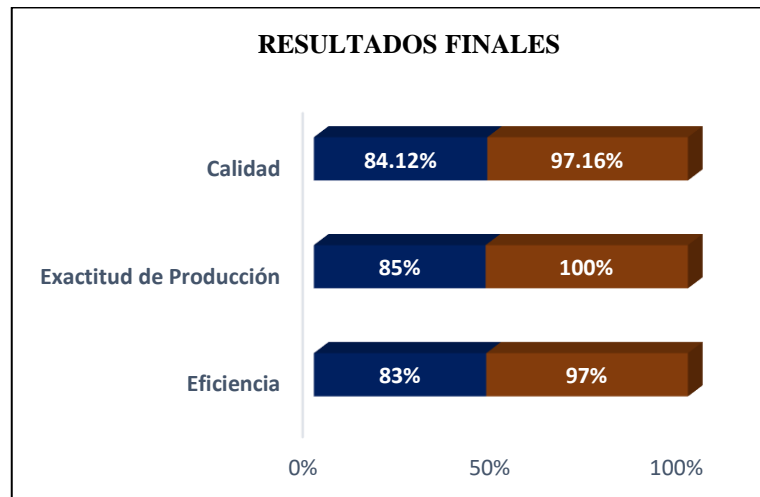
#### 4.3.3 Análisis de Resultados

Finalmente, los resultados finales del proyecto indican que hubo un incremento en la eficiencia, productividad y calidad del área de ensamble.

En cuanto a calidad, se observa una mejora de 13.04% en el tipo de pieza que se logra al final del proceso al evitar choques y disminuir movimientos innecesarios. Es decir, luego de la implementación del proyecto, se estarían obteniendo un mayor número de piezas de calidad estándar, respecto a la situación inicial. Esto repercute directamente en la eficiencia del área, pues se obtienen mejores resultados con los mismos recursos.

La exactitud de producción indica el cumplimiento total del plan de producción planteado por la empresa.

Finalmente, la eficiencia se logra incrementar en un 14 % aproximadamente.



*Figura 7. Resultados Finales*

## 5 CONCLUSIONES

La eficiencia actual en el área de ensamble es de 83%, la cual ocasiona un costo de oportunidad de 21.94% mensual al impedir el cumplimiento del plan de producción. Asimismo, las causas principales de dicha ineficiencia son los tiempos improductivos, los movimientos ineficientes y el exceso del desplazamiento de la pieza en el área.

La aplicación integrada de la Ingeniería de Métodos y la Planificación Sistemática del layout permitió obtener un incremento del 14% en la eficiencia, lograr obtener una exactitud en el plan de producción del 100% y un incremento en la calidad de las piezas del 13.04%.

La simulación en el software Arena demostró la efectividad de la propuesta en el incremento de las piezas producidas al día y un incremento en la utilidad diaria que triplica el valor actual.

Los índices de rentabilidad financiera fueron positivos tanto con financiamiento propio como con un financiamiento externo y se obtuvo un RBC de 5.01 y 18.11 respectivamente.

## 6 REFERENCIAS

- [1] S. Sujono and R. S. Lashkari, "A multi-objective model of operation allocation and material handling system selection in FMS design," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 105, no. 1, pp. 116–133, 2007.
- [2] C. Bocanegra, C. Saldaña, G. Cárdenas, and R. Galindo, "Plan de negocio para la nueva línea de sanitarios ecológicos en la empresa Cerámica Industrial Trend S.A.C.," Esan Graduate School of Business, 2018.
- [3] N. Zulkifli, A. Shah, and F. A. Aziz, "Systematic Planning Layout and Line Balancing for Improvement in an Armoured Vehicle Manufacturing Plant," pp. 1702–1707, 2017.
- [4] L. T. Astuhuaman Peña, "Propuesta de mejora para incrementar la eficiencia en el proceso de producción en una fábrica de sanitarios," 2018.
- [5] M. Gansterer and R. F. Hartl, "One- and two-sided assembly line balancing problems with real-world constraints," *Int. J. Prod. Res.*, pp. 1–18, 2017.
- [6] V. Kannan and H. N., "A STUDY ON APPLICATION OF LEAN SIX SIGMA TECHNIQUES TO OPTIMISE THE ASSEMBLY PROCESS FOR A PUMP MANUFACTURING UNIT," *Int. J. Pure Appl. Math.*, vol. 119, no. 17, pp. 2699–2712, 2018.
- [7] A. P. Puvanasvaran, A. H. M. N. H., and S. S. Yoong, "CYCLE TIME REDUCTION FOR COIL SETUP PROCESS THROUGH STANDARD WORK : CASE STUDY IN CERAMIC INDUSTRY," *ARPJ. Eng. Appl. Sci.*, vol. 13, no. 1, pp. 210–221, 2018.
- [8] J. C. Fin, G. Vidor, I. Cecconello, and V. D. C. Machado, "Improvement based on standardized work: an implementation case study," *Brazilian J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 14, no. 3, p. 388, Sep. 2017.
- [9] D. Seth, N. Seth, and P. Dhariwal, "Application of value stream mapping (VSM) for lean and cycle time reduction in complex production environments: a case study," *Prod. Plan. Control*, vol. 28, no. 5, pp. 398–419, 2017.
- [10] R. Mor, A. Bhardwaj, S. Singh, and A. Sachdeva, "Productivity gains through

standardization-of-work in a manufacturing company,” *J. Manuf. Technol. Manag.*, 2018.

- [11] A. Petrillo, F. De Felice, A. Silvestri, and D. Falcone, “Lay-out optimisation through an integrated approach based on material flow and operations mapping using a commercial software,” *Int. J. Serv. Oper. Manag.*, vol. 23, no. 1, pp. 113–134, 2016.
- [12] H. Zupan, N. Herakovic, J. Zerovnik, and T. Berlec, “Layout optimization of a production cell,” *Int. J. Simul. Model.*, vol. 16, no. 4, pp. 603–616, 2017.
- [13] S. A. Ali Naqvi, M. Fahad, M. Atir, M. Zubair, and M. M. Shehzad, “Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning,” *Cogent Eng.*, vol. 3, no. 1, 2016.
- [14] B. Suhardi, E. Juwita, and R. D. Astuti, “Facility layout improvement in sewing department with Systematic Layout planning and ergonomics approach,” *Cogent Eng.*, vol. 6, no. 1, 2019.
- [15] A. Qattawi and S. Chalil Madathil, “Assembly line design using a hybrid approach of lean manufacturing and balancing models,” *Prod. Manuf. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 125–142, 2019.
- [16] S. Nallusamy and V. Saravanan, “Enhancement of Overall Output in a Small Scale Industry Through VSM , Line Balancing and Work Standardization,” *Int. J. Eng. Res. Africa*, vol. 26, pp. 176–183, 2016.
- [17] C. O. Chan and H. L. Tay, “Combining lean tools application in kaizen: a field study on the printing industry,” *Int. J. Product. Perform. Manag.*, vol. 67, no. 1, pp. 45–65, 2018.
- [18] R. Leon, O. Karina, and T. Toro, ““ La importancia de calcular el coeficiente COK para la toma de decisión de inversión en las empresas peruanas , según su nivel de riesgo ,”” 2019.