

<https://doi.org/10.69639/arandu.v11i2.504>

Mejora de la eficiencia de los procesos de producción de paneles fotovoltaicos mediante la aplicación de herramientas de mejora continua

Improving the Efficiency of Photovoltaic Panel Production Processes through the Application of Continuous Improvement Tools

José Alberto García Juárez

josberjuarez@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-1318-4490>

Tecnológico Nacional de México / Orizaba
Veracruz – México

Marcos Salazar Medina

marcos.sm@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6235-9973>

Tecnológico Nacional de México / Orizaba
Veracruz – México

Mauricio Romero Montoya

mauricio.rm@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4325-7717>

Tecnológico Nacional de México / Orizaba
Veracruz – México

Gabriela Alcalde Pérez

alma.ap@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0001-7467-9835>

Tecnológico Nacional de México / Orizaba
Veracruz – México

Nuria Ortega Petterson

nuria.op@orizaba.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0001-8955-7192>

Tecnológico Nacional de México / Orizaba
Veracruz - México

Artículo recibido: 20 octubre 2024 - *Aceptado para publicación: 26 noviembre 2024*

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

Este artículo aborda la optimización del proceso de producción de paneles fotovoltaicos en una empresa de Rio Blanco, Veracruz, mediante el uso de tiempos estándar, SMED y Kaizen, a través de un estudio de tiempos, donde se identificaron actividades que afectaban el tiempo de ciclo en procedimientos clave como el laminado, la soldadura y el corte de ribbon. La metodología incluyó la estandarización de procesos, la reorganización de actividades internas y externas mediante SMED, y la implementación de mejoras continuas. Como resultado, se logró reducir el tiempo total necesario para cumplir con la producción mensual de 100 paneles de 56.4 días laborales a


25.12 días, acercándose significativamente a los 25 días disponibles. Estas mejoras no solo optimizan el flujo productivo, sino que también establecen una base para futuras iniciativas de mejora continua.

Palabras clave: tiempos estándar, smed, kaizen, mejora continua

ABSTRACT

This article addresses the optimization of the photovoltaic panel production process in a company located in Rio Blanco, Veracruz, through the use of standard times, SMED, and Kaizen, based on a time study. Key activities affecting cycle time in critical procedures such as lamination, soldering, and ribbon cutting were identified. The methodology included process standardization, the reorganization of internal and external activities using SMED, and the implementation of continuous improvements. As a result, the total time required to meet the monthly production of 100 panels was reduced from 56.4 working days to 25.12 days, significantly approaching the available 25 days. These improvements not only optimize the production flow but also establish a foundation for future continuous improvement initiatives.

Keywords: standard times, smed, kaizen, continuous improvement

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional *Arandu UTIC* publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

La industria de los paneles fotovoltaicos ha experimentado un crecimiento exponencial en las últimas décadas, consolidándose como una fuente clave de energía renovable para satisfacer la creciente demanda energética global. En 2019, la capacidad instalada de generación solar había aumentado más de siete veces en comparación con 2010, alcanzando los 121 GW anuales (Van, Pham, Phang, & Cong, 2022). Este avance ha sido impulsado por mejoras en la tecnología de conversión fotovoltaica, permitiendo una transición más rápida hacia energías limpias y reduciendo la dependencia de fuentes no renovables, sin embargo, la sostenibilidad de esta industria no solo radica en el uso de fuentes limpias de energía, sino también en optimizar la producción y el ciclo de vida de los materiales, minimizando así el impacto ambiental (Cuevas, González, Torres, & Valladares, 2020) (Bello, Murrieta, & Cortes, 2020). Este crecimiento de la industria fotovoltaica ha impulsado la búsqueda de eficiencia en los procesos de producción, aspecto clave para mantener la competitividad y sustentabilidad en el sector de energías renovables.

En este contexto, herramientas como el establecimiento de tiempos estándar, SMED y Kaizen, han ganado relevancia por su capacidad para mejorar tiempos, equilibrar cargas de trabajo y, reducir desperdicios en diversos sectores productivos. En particular, el estudio de tiempos se ha establecido como una técnica esencial para incrementar la eficiencia en la producción al analizar sistemáticamente los tiempos y movimientos de cada actividad. Esta herramienta permite establecer tiempos estándar, reducir movimientos innecesarios y equilibrar tareas entre estaciones de trabajo, por ejemplo, varios estudios en fábricas revelan que la redistribución de tareas basada en tiempos y movimientos incrementa la producción en un 5.49%, demostrando así su capacidad para mejorar la eficiencia en líneas de producción (Andrade, Del Río, & Alvear, 2019). Asimismo, en una empresa de energía limpia, permitió la estandarización de tareas y reducción de tiempos muertos en su producción (Bello, Murrieta, & Cortes, 2020).

Por otro lado, Kaizen, que promueve mejoras continuas mediante pequeños ajustes en el proceso, ha demostrado ser efectivo en industrias de manufactura, incrementando la eficiencia operativa y reduciendo costos en más de un 10% (Rossini, y otros, 2019). En Vietnam, la implementación de Kaizen, en departamentos de una empresa mejoró el tiempo total de producción en 10 veces y redujo costos operativos (Tekin, Arslantere, Etlioğlu, & Tekin, 2019).

SMED, inicialmente desarrollado en Toyota, también ha mostrado resultados significativos, logrando reducciones de hasta el 48% en tiempos de configuración al reducir el tiempo de cambio en máquinas, y es aplicable en industrias con procesos de alta variabilidad (Yazıcı, Gökler, & Boran, 2020) (Zasadzień, Wolniak, & Kwiecień, 2018).

La empresa de paneles fotovoltaicos, ubicada en Río Blanco, Veracruz, enfrenta desafíos significativos en sus procesos de producción, particularmente en los procedimientos de laminado,

la soldadura y la colocación de cajas de conexiones de sus paneles fotovoltaicos de 4 bus-bar. Con una demanda mensual de 100 paneles, un análisis inicial revela que el tiempo actual de ciclo productivo requiere 56.4 días laborales, superando ampliamente los 25 días disponibles mensualmente. Este desfase evidencia la necesidad de mejorar los procesos productivos para mejorar la eficiencia y garantizar el cumplimiento de la demanda, por lo tanto, para abordar estos problemas, se implementan herramientas de manufactura esbelta, como SMED y Kaizen, con el objetivo principal mejorar la eficiencia de los procesos de producción, reduciendo los tiempos de ciclo y los tiempos cambio en procedimientos críticos como el laminado y la colocación de la caja de diodos, mientras que Kaizen se aplica para introducir mejoras continuas en actividades como el cortado de ribbon. Estas herramientas también establecen nuevos tiempos estándar que facilitan la estandarización y la guía para el personal operativo.

A través de esta investigación, se busca lograr una disminución significativa en los tiempos del proceso productivo, acercando a la empresa a su meta de cumplir con la demanda mensual, además, estas mejoras contribuyen a establecer un sistema más eficiente y competitivo, permitiendo que la empresa responda a las crecientes exigencias del mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño de investigación

El artículo se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo y experimental, orientado a la mejora de la eficiencia en el proceso de producción de paneles fotovoltaicos en una empresa armadora de paneles fotovoltaicos.

Los indicadores de mejora incluyen el tiempo de ciclo promedio y la reducción de tiempos muertos en el procedimiento de laminado y colocación de caja de diodos, interviniendo en la producción del lote de 100 paneles en los 25 días laborales (420 minutos disponibles).

Herramientas utilizadas

Tiempos estándar: Se implementa un análisis de tiempos para registrar el tiempo de cada actividad en el proceso de soldadura. Esta herramienta permite medir el tiempo requerido para cada tarea principal y establecer tiempos estándar, ayudando a identificar etapas en las que los tiempos de ejecución son altos o inconsistentes (Takada & Kawamura, 2016). Estos datos sirven como base para cuantificar el impacto de SMED y Kaizen, en el flujo de producción, perfeccionando así, el flujo general, conjuntamente de brindar una comparativa de la efectividad de estas.

Además, se documentan los procedimientos actuales y los propuestos, con el fin de estandarizar las actividades, de modo que cualquier operador pueda capacitarse bajo las nuevas condiciones y modificaciones del estudio como lo recomienda (Nallusamy & Muthamizhmaran, 2016). La documentación de procedimientos incluye descripciones detalladas de cada etapa,

diagramas de flujo y secuencias de tareas, que facilitan la estandarización y sirven como guía de capacitación para futuros operadores.

SMED (Single Minute Exchange of Dies): Con el objetivo de reducir los tiempos de cambio entre lotes de producción, se aplica la técnica SMED, esto incluye la identificación de actividades internas y externas en el procedimiento de laminado, así como la conversión de actividades internas en externas cuando fue posible. Se realiza una evaluación inicial de los tiempos de cambio y una evaluación posterior para medir la reducción de tiempos alcanzada.

Kaizen: Como parte del enfoque de mejora continua, se implementaron ajustes en el proceso de soldadura a través de eventos Kaizen. Estos ajustes incluyeron la reorganización de herramientas, la estandarización de procedimientos y la eliminación de desperdicios. Kaizen, permite que el equipo de trabajo participe activamente en la identificación de mejoras y en la optimización de sus tareas diarias.

Procedimiento

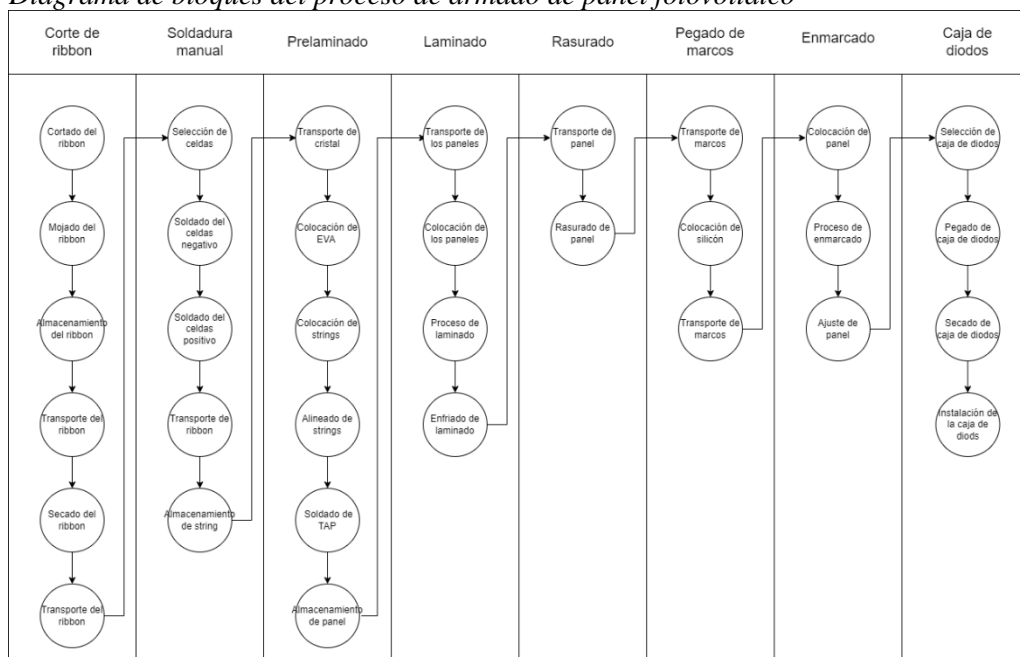
El estudio se dividió en 5 fases:

Fase 1: Establecer Manuales de Procedimientos

La planta de producción no cuenta con procedimientos registrados, es necesario crear manuales de procedimiento para el proceso de fabricación de panel fotovoltaico, para ello, se desglosan las actividades principales en subtareas detalladas y se diseñan diagramas de flujo que representan cada etapa del proceso. Estos diagramas y documentos se estructuran con el objetivo de proporcionar instrucciones claras y estandarizadas, lo que permite establecer una base sólida para mejoras posteriores (Escalante & González, 2016). La siguiente figura muestra un diagrama de bloque de los procedimientos elaborados y documentados.

Figura 1

Diagrama de bloques del proceso de armado de panel fotovoltaico



El proceso comienza con el corte de ribbon, donde los operadores cortan manualmente las tiras de ribbon al tamaño de la celda solar, son remojadas en la tina de flux y son llevadas al siguiente procedimiento.

Una vez obtenido las tiras de ribbon, se procede al soldado manual de las celdas solares para elaborar un string, el cual se obtiene soldando la parte negativa y positiva de las celdas solares (el número conformado de las celdas solares para la obtención del string, depende totalmente de la empresa según el voltaje y amperaje que se quiera obtener).

Tras la obtención de los strings, se trasladan al procedimiento de prelamado, en el cual, se arma el panel fotovoltaico con todos sus componentes.

Terminado el armado del panel fotovoltaico junto con el soldado de sus terminales, se trasladan al procedimiento de laminado, en el cual, la máquina desprende la lámina de EVA mediante calor para que se adhieran los componentes y les brinde solidez.

Una vez enfriado el panel fotovoltaico se mueve al área del procedimiento de rasurado, en la cual, se elimina cualquier exceso de EVA causado por la laminadora mediana.

El pegado de marcos se realiza como un procedimiento previo al enmarcado, pues este requiere colocar una capa de silicón antes de iniciar el proceso de enmarcado.

Una vez colocado una capa de silicón, se transporta a la máquina enmarcadora para el inicio de este proceso, en el cual se presiona marcos para formar las protecciones del panel.

El último proceso a realizar es el pegado e instalado de la caja de conexiones, la cual funciona como protección y se instala junto las terminales TAP.

Fase 2: Determinación de Tiempos Estándar

Ante la falta de tiempos estándar establecidos, se realiza un estudio detallado de tiempos. Primero, se definen las tareas específicas a analizar, dividiéndolas en elementos precisos con base en los manuales de procedimiento documentados (Heizer & Render, 2009). Cada actividad se analiza en términos de ciclos, determinando el número de repeticiones necesarias para obtener mediciones representativas, donde se considera un nivel de confianza del 95% y un margen de error del .02.

$$n = \left(\frac{zS}{e} \right)^2$$

El procedimiento consiste en registrar los tiempos de cada elemento mediante observaciones y mediciones directas. Para garantizar la precisión, se califican los desempeños de los operarios durante la ejecución de las actividades y se calcula el tiempo promedio observado. A partir de estos datos, se determinan los tiempos normales para cada elemento, finalmente, el tiempo estándar se obtiene incluyendo holguras específicas, ajustadas según la naturaleza de cada tarea. En la siguiente tabla se muestra los tiempos en minutos de cada procedimiento.

Tabla 1*Tiempos estándar de la primera toma de procedimientos*

Procedimiento	Tiempo estándar (en minutos)
Cortadura de ribbon	60.73
Soldado manual	17.20
Prelaminado	38.23
Laminado	25.96
Rasurado	9.49
Pegado	9.17
Enmarcado	7.82
Conectado	71.02
	239.62

Fase 3: Análisis de Mejora de Procesos

Con un tiempo de producción de 239.62 minutos por panel y una demanda mensual de 100 paneles, se calcula que se requieren 57.05 días laborales (como se muestra en la Ecuación 1) de los 25 disponibles al mes, lo que evidencia la necesidad de realizar mejoras en el flujo de trabajo y de reducir tiempos en ciertas actividades. Tras analizar los tiempos y procedimientos junto con el equipo de trabajo de la empresa, se identifican tres áreas de oportunidad, en las cuales, se implementan ajustes utilizando la herramienta SMED en el procedimiento de laminado y estrategias de mejora continua en el procedimiento de pegado de la caja de diodos y en el corte de ribbon.

$$57.05 = \frac{\text{Tiempo ciclo actual} \times 100}{\text{Tiempo disponible}}$$

Fase 4: Aplicación de herramientas

El procedimiento del corte de ribbon consta de 6 actividades totales, como se muestra en la tabla 2, sin embargo, estas representan un cuello de botella en el suministro de materia prima para el proceso de soldadura manual, por lo cual, con el fin de mejorar la eficiencia de este procedimiento, se implementa una mejora continua (Kaizen) mediante la incorporación de una máquina llamada “stringer” para semiautomatizar el corte de ribbon, además, se asignó un operario dedicado a proporcionar un flujo constante de materia prima, asegurando la continuidad del proceso de soldadura.

Tabla 2*Actividades de el procedimiento de cortado de ribbon antes de la modificación*

Actividades
Cortado de tiras de ribbon
Almacenamiento de tiras de ribbon en tina
Retirado de tiras de ribbon de la tina de flux
Transporte de tiras de ribbon a mesa de trabajo
Secado de tiras de ribbon
Transporte de tiras de ribbon a estaciones de trabajo

Para la nueva configuración, se desarrolló un manual de procedimientos nuevo que describe en detalle la operación de la máquina “stringer” y las tareas del operario asignado. Este

nuevo manual sustituyó completamente al procedimiento anterior, adaptándose a los requerimientos de la operación. En la tabla 3 tal se muestra las nuevas actividades del procedimiento.

Tabla 3

Actividades del procedimiento de cortado de ribbon después de la modificación

Actividades
Liberación de ribbon
Presionado de pedal
Jalado del ribbon
Jalado del carrito
Pulsado de botones bimanuales

En el procedimiento de laminado, el cual consiste principalmente de 4 actividades (transporte de paneles, colocación de paneles, proceso de laminado y proceso de enfriado) se detectó que, la actividad del proceso de enfriado causa retrasos debido al tiempo que requiere dentro del flujo principal, por lo que, para mejorar el ciclo de este procedimiento, se aplica la metodología SMED con el objetivo de disminuir el tiempo total de ciclo. Como primer paso, se colocan las actividades de preparación de la máquina, clasificándolas en internas y externas, como se muestra en la tabla 4, además, de los tiempos en que se llegan a realizar.

Tabla 4

Clasificación de actividades de la preparación de la máquina de laminado

Paso	Actividad	Descripción	Actividad Interna/Externa	Tiempo Estimado (min)	Tiempo Real (min)
1	Limpieza del área de laminado	Limpiar los residuos o restos del proceso anterior para evitar contaminación.	Interna	0.33	0.38
2	Preparación de nuevos paneles	Inspección y preselección de los paneles nuevos antes de iniciar el cambio de formato.	Externa	1.50	1.55
3	Verificación de seguridad	Comprobación de que todas las configuraciones cumplen con los estándares	Interna	0.75	1.03

Posteriormente, para el apartado de mejoras propuestas, la actividad de enfriado antes mencionada del procedimiento de laminado, se decide modificarla para que forme parte del proceso de preparación, colocándola como una actividad interna, de este modo, permite que el ciclo productivo continúe mientras los paneles se enfrían fuera del flujo principal de producción. Este ajuste logra reducir el tiempo de ciclo del laminado, aumentando la disponibilidad de la máquina para el siguiente lote, asimismo, se propone y aplica las mejoras de las actividades del proceso de preparación restantes. En la tabla 5 se muestra las mejoras y los nuevos tiempos de las actividades.

Tabla 5*Mejoras realizadas de las actividades de preparación de la máquina de laminado*

Paso	Actividad	Mejora Propuesta	Tiempo después de la Mejora (min)
1	Traslado de paneles enfriados	Convertirla en una actividad externa, trasladando los paneles enfriados a un área	10.00
2	Limpieza del área de laminado	Asignar a un operario adicional para hacer la limpieza de manera anticipada	0.16
3	Preparación de nuevos paneles	Preparar los paneles en una estación previa cerca de la laminadora y mantener un	1.25
4	Verificación de seguridad	Estandarizar la verificación con un checklist.	0.50

En el procedimiento de pegado de la caja de diodos, el cual consiste en 4 actividades como se muestra en la tabla 6, el tiempo de secado del adhesivo de la tercera actividad es de 65 minutos, el cual, causa un retraso significativo en el ciclo de producción. Aunque este paso no puede eliminarse debido a su importancia en la integridad del panel, se logró adaptar al proceso para que el secado no interfiriera en el flujo general. Para realizar esto, los paneles se ubicaban en un rack hasta que el último panel del lote diario (cuatro paneles) finalizara el secado, momento en el cual se realizaba la instalación final de las cajas de diodos, permitiendo así un flujo continuo en el ciclo productivo y minimizando los tiempos de espera.

De este modo, se realizan ajustes en la toma de tiempos para reflejar con mayor precisión el nuevo flujo. Se agrega una columna de "Tiempo Superpuesto" en el registro de tiempos, la cual indica qué actividades se realizan en paralelo, lo que permite calcular el tiempo real del proceso sin contar el tiempo de enfriamiento como adicional. Con esta nueva estructura, el "Tiempo Estándar" se actualiza para que el tiempo de enfriamiento ya no sume de forma independiente, en lugar de eso, se ajusta el tiempo total del ciclo eliminando el tiempo de enfriamiento, logrando así una medición más precisa del ciclo productivo.

Tabla 6*Ajuste de las actividades del procedimiento de la caja de diodos*

Tarea	Operario 1					Tiempo observado	Rendimiento	Tiempo normal	Tiempo tipo	Tiempo superpuesto
	T1	T2	T3	T4	T5					
Selección de caja de diodos	0.06	0.08	0.07	0.08	0.08	0.074	1	0.074	0.08362	No
Colocación de silicón	2.86	2.81	2.82	2.73	2.71	2.786	1.25	3.4825	3.935225	No
Espera de pegado	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65	1	65	65	Si
Instalación de conexiones	2.02	2.20	2.05	2.01	2.09	2.074	1	2.074	2.34362	No
								Tiempo estándar	6.362465	

Fase 5: Toma de Tiempos Posterior a las Mejoras

Tras implementar las mejoras los procedimientos de corte de ribbon, laminado y colocación de caja de diodos, se procede a realizar una segunda toma de tiempos para evaluar el impacto de los cambios, en esta fase, se repite el estudio de tiempos en los procedimientos, considerando las modificaciones antes mencionadas.

La segunda toma de tiempos permite calcular un nuevo tiempo estándar para los 3 procedimientos, mostrando una reducción notable en los tiempos de ciclo. Con los tiempos

actualizados, se recalcula el tiempo de producción para cubrir la demanda mensual de 100 paneles, evidenciando una mejora en la eficiencia global del proceso y una mayor capacidad para cumplir con la demanda sin tiempos muertos ni retrasos críticos en el ciclo de producción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La implementación de mejoras en los procedimientos de producción de paneles fotovoltaicos tuvo un impacto significativo en la eficiencia operativa, reflejándose en la reducción de tiempos de ciclo y una optimización del flujo productivo. A continuación, se detallan los resultados específicos obtenidos en cada área de mejora, así como una discusión sobre el impacto general de estas modificaciones.

Tabla 7

Tiempos estándar de la segunda toma de procedimientos

Actividad	Tiempos estándar (en minutos)
Cortado ribbon	0.35047964
Soldadura manual	16.90313953
Prelaminado	39.78848
Laminado	15.98128
Rasurado	9.363097958
Relleno de marco	9.405357143
Enmarcadora	7.349857143
Caja de diodos	6.362465
	105.5041564

La introducción de la máquina 'stringer' para el corte semiautomático de ribbon generó una mejora destacada en la eficiencia de esta etapa (como se muestra en la tabla 8), logrando una reducción del 99.4% en el tiempo necesario para el corte.

Tabla 8

Porcentaje de reducción del cortado de ribbon

Proceso	Tiempo Inicial (min)	Tiempo con mejora (min)	Reducción (%)
Corte de ribbon	60.73	0.3504	99.42

Con la aplicación de SMED en el proceso de laminado, se logra reducir el tiempo de preparación en un 38.4% como se muestra en la tabla 9. Esta mejora permite no solo agilizar el ciclo productivo, sino también maximizar la disponibilidad de la máquina de laminado, facilitando la preparación de cada lote de manera más eficiente.

Tabla 9

Porcentaje de reducción del laminado

Proceso	Tiempo Inicial (min)	Tiempo con SMED (min)	Reducción (%)
Laminado	25.95	15.98	38.42

En el procedimiento de pegado de la caja de diodos, la reorganización del secado del adhesivo, que previamente representaba un retraso de 65 minutos en el ciclo, resulta en una disminución del tiempo total de este proceso en un 86.19% mostrado en la la tabla 10.

Tabla 10
Porcentaje de reducción de colocación de caja de diodos

Proceso	Tiempo Inicial (min)	Tiempo con mejora (min)	Reducción (%)
Caja de diodos	71.01	6.3624	91.04

Con las mejoras implementadas, el tiempo requerido para producir 100 paneles fotovoltaicos ha disminuido notablemente, pasando de 57.05 días laborales a 25.12 días laborales. Aunque este tiempo aún excede ligeramente los 25 días laborales disponibles al mes, representa una gran aproximación al objetivo, evidenciando el impacto positivo de las modificaciones en el flujo de trabajo. Con este indicador, la planta está cada vez más cerca de cumplir con la demanda mensual sin requerir tiempo extra significativo. En la siguiente tabla se muestra la comparativa de los tiempos.

Tabla 11
Comparación de tiempos en el proceso antes y después de las mejoras implementadas

Actividades	Antes de las mejoras (min)	Después de las mejoras (min)
Cortadura de ribbon	60.73	0.35
Soldado manual	17.20	16.90
Prelaminado	38.23	39.79
Laminado	25.96	15.98
Rasurado	9.49	9.36
Pegado	9.17	9.41
Enmarcado	7.82	7.35
Conectado	71.02	6.36
Total	239.62	105.50

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian la efectividad del uso de las Metodologías de Mejora que integran el estudio de tiempos con herramientas de producción esbelta (SMED y Kaizen) en el proceso de producción de paneles fotovoltaicos. La implementación de estas herramientas permite una reducción significativa de los tiempos de ciclo, mejorando la eficiencia operativa y facilitando la capacitación de los operarios a través de procedimientos estandarizados. La estandarización alcanzada proporciona una guía clara que no solo contribuye a la continuidad del proceso, sino que también ayuda a mantener una consistencia en la producción.

Los datos reflejan cómo la combinación de SMED y Kaizen puede ser eficaz en el contexto específico de la planta, mejorando el flujo de trabajo y logrando una reducción en los tiempos de preparación y ciclo, esto demuestra que, al adaptar estas herramientas al contexto particular de la manufactura de paneles, es posible mejorar la eficiencia sin necesidad de realizar cambios

estructurales significativos en el proceso, además, los tiempos estándar obtenidos facilitan la medición y monitoreo continuo de la eficiencia, permitiendo una mejor planificación para cumplir con la demanda mensual de producción.

Es importante señalar que, aunque esta investigación ha demostrado ser beneficiosa en la mejora del flujo de trabajo y la reducción de tiempos, su aplicación está diseñada específicamente para el proceso de producción de esta planta, dado que cada planta puede tener procesos y necesidades diferentes, esta metodología de mejora debe adaptarse a las características únicas de cada entorno de producción.

La disponibilidad de personal y la falta de experiencia inicial en el uso de estas herramientas representan un desafío en la implementación, no obstante, con el tiempo, se espera que la familiarización de los operarios con los procedimientos estandarizados fortalezca aún más los resultados obtenidos.

Futuras investigaciones en este ámbito podrían explorar otras técnicas de mejora de tiempos que permitan optimizar aún más el flujo de trabajo y garantizar un cumplimiento completo de la demanda mensual en la producción de paneles fotovoltaicos.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que la aplicación de estas herramientas son efectivas para reducir los tiempos de ciclo y mejorar el flujo de trabajo en las actividades del proceso productivo.

El establecimiento de tiempos estándar proporciona una base estructurada para medir, controlar y estandarizar las actividades en cada etapa del proceso.

La metodología SMED permite una reducción significativa del 38.4% en el tiempo de preparación en el procedimiento de laminado, validando su efectividad para reorganizar actividades internas y externas, y transformarlas en tiempos de preparación más eficientes. Por su parte, la implementación de Kaizen en el procedimiento de corte de ribbon contribuye a un incremento en la continuidad del flujo productivo,

REFERENCIAS

- Andrade, A., Del Río, C., & Alvear, D. (2019). Estudio de Tiempos y Movimientos para Incrementar la Eficiencia en una Empresa de Producción de Calzado. *Información Tecnológica*. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000300083>
- Bello, D., Murrieta, F., & Cortes, C. (2020). Análisis de tiempos y movimientos en el proceso de producción de vapor de una empresa generadora de energías limpias. *Ciencia Administrativa*.
- Cuevas, C., González, Y., Torres, M., & Valladares, M. (2020). Importancia de un estudio de tiempos y movimientos. *inventio*. doi:10.30973/inventio/2020.16.39/7
- Escalante, A., & González, J. (2016). *Ingeniería Industrial. Métodos y tiempos con manufactura ágil*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Ghani, U., Hayat, M., Khalid, Q., & Azam, K. (2020). Productivity Improvement Through Time and Motion Method. *International Journal of Engineering and Technology*. doi:DOI: 10.21817/ijet/2020/v12i2/201202012
- Heizer, J., & Render, B. (2009). *Principios de Administración de Operaciones*. México: Pearson Education.
- Hummel, E., & Murphy, K. (2011). Using Service Blueprinting to Analyze Restaurant Service Efficiency. *Cornell Hospitality Quarterly*, 265-272. doi:DOI: 10.1177/1938965511410687
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al estudio del trabajo*. Suiza: Ginebra.
- Nallusamy, S., & Muthamizhmaran, S. (2016). Enhancement of productivity and overall equipment efficiency using time and motion study technique -a review. *Advanced Engineering Forum*, 59-66. doi:10.4028/www.scientific.net/AEF.14.59
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo*. México: McGraw-Hill Companies.
- Rossini, M., Audino, F., Costa, F., Cifone, F., Kundu, K., & Portiolo, A. (2019). Extending lean frontiers: a kaizen case study in an Italian MTO manufacturing company. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. doi:<https://doi.org/10.1007/s00170-019-03990-x>
- Takada, Y., & Kawamura, H. (2016). Time and motion Study for Operation Improvement in Ryokans. *Jpn Iand Manage Assoc*.
- Tekin, M., Arslandere, M., Etlioğlu, M., & Tekin, E. (2019). An Application of Kaizen in a Large-Scale Business. *Proceedings of the International Symposium for Production Research*, 515-529. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-92267-6_44
- Van, C., Pham, Phang, L. H., & Cong, T. h. (2022). Kaizen Applications in the Garment Industry: A Case Study. *Journal of Science and Technology*. doi:

<https://doi.org/10.56097/binhduonguniversityjournalofscienceandtechnology.v5i4.88>

Yazıcı, K., Gökler, S., & Boran, S. (2020). An integrated SMED-fuzzy FMEA model for reducing setup time. *Journal of Intelligent Manufacturing*. doi: <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01675-x>

Zasadzień, B., Wolniak, R., & Kwiecień, A. (2018). Improving the efficiency of the production process using SMED. *MATEC Web of Conferences*. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818301002>