CAMBIO DE PERFIL TÉRMICO ESPECÍFICO POR UNO GENERAL Y EXTENSIÓN DE VIDA ÚTIL DE PERFILES PCB EN HORNOS DE REFLUJO PARA EL PROCESO SMT

TRANSITIONING FROM SPECIFIC TO GENERAL THERMAL PROFILES AND EXTENDING THE SERVICE LIFE OF PCB PROFILES IN REFLOW OVENS FOR THE SMT PROCESS

José Ángel Morales Martínez
Tecnológico Nacional de México/ IT de Ciudad Hidalgo, México
jmorales@cdhidalgo.tecnm.mx

Virginia Mendiola García
Tecnológico Nacional de México / IT de Ciudad Hidalgo, México
vmendiola@cdhidalgo.tecnm.mx

Edgar Cuevas Álvarez
Tecnológico Nacional de México/ IT de Ciudad Hidalgo, México
ecuevas@cdhidalgo.tecnm.mx

Recepción: 22/mayo/2026 **Aceptación:** 06/noviembre/2026

Resumen

El presente trabajo se desarrolló en una empresa dedicada a la manufactura de componentes electrónicos y tuvo como finalidad establecer una condición óptima general para los hornos de reflujo utilizados en el proceso SMT (Tecnología de Montaje Superficial), además de justificar la extensión de vida útil de las tarjetas perfiladoras utilizadas para el monitoreo térmico del proceso. Para ello, se realizó un estudio mediante la selección de diferentes modelos de PCB (Placa de Circuito Impreso) y líneas de producción, donde se evaluó el comportamiento y degradación de los perfiles durante diferentes ciclos de uso. Los resultados obtenidos muestran que los perfiles mantienen condiciones estables de funcionamiento y valores aceptables del índice de ventana de proceso (PWI), incluso después de los 100 ciclos de procesamiento, permitiendo aumentar la vida útil inicialmente establecida de 50 a 100 ciclos. Posteriormente, se realizó un análisis histórico de hornos de reflujo considerando parámetros como el oxígeno (O_2) y el nitrógeno (N_2), con la finalidad de identificar las mejores condiciones operativas para la realización de

FIRST VIEW

pruebas y optimización del proceso. Con la implementación de las mejoras, se obtuvieron beneficios relacionados con la reducción de costos, disminución del tiempo de fabricación y una mayor eficiencia operativa dentro del proceso SMT.
Palabras Clave: Hornos de reflujo, SMT, PCB, PWI, vida útil.

Abstract

This study was conducted at a company that manufactures electronic components. Its primary objective was to establish optimal operating conditions for the reflow ovens used in the SMT (Surface Mount Technology) process, as well as to justify extending the service life of the profiling boards used for thermal monitoring of the process. To this end, an investigation was carried out involving various PCB (Printed Circuit Board) models and production lines, evaluating the performance and degradation of the profiling boards over multiple usage cycles. The results indicate that these boards maintain stable operating conditions and acceptable Process Window Index (PWI) values even after 100 processing cycles, allowing for an increase in their established service life from 50 to 100 cycles. Furthermore, a historical analysis of the reflow ovens was performed—considering parameters such as oxygen (O_2) and nitrogen (N_2) levels—to identify the best operating conditions for testing and process optimization. The implementation of these improvements resulted in benefits such as cost reduction, shorter manufacturing times, and greater operational efficiency within the SMT process.
Keywords**:** *Lifespan, PCB, PWI, reflow ovens, SMT.*

FIRST VIEW

1. Introducción

Actualmente, en la industria electrónica y automotriz los procesos de manufactura requieren mantener altos estándares de calidad y estabilidad para asegurar el correcto funcionamiento de los productos. Dentro del proceso SMT (Surface Mount Technology), el horno de reflujo representa una etapa importante debido a que permite realizar la unión de los componentes electrónicos sobre la tarjeta PCB mediante un perfil térmico controlado [Bolaños & Bolaños, 2021; What is SMT, 2019].

El perfil térmico es una herramienta utilizada para monitorear las condiciones del proceso y verificar que la temperatura aplicada durante el paso por el horno se encuentre dentro de los parámetros establecidos [Microensamble, 2017; IPC-7801, 2015]. En los procesos de perfilado térmico, las tarjetas utilizadas para realizar las mediciones se encuentran expuestas repetidamente a las condiciones térmicas del horno de reflujo. Esta exposición puede generar deterioro físico en elementos como termopares, conexiones y zonas de unión, por lo que resulta necesario establecer criterios que permitan determinar si el desgaste observado afecta realmente la capacidad del perfil para realizar mediciones confiables.

La empresa donde se desarrolló este trabajo cuenta con un tiempo de vida útil definido para estos perfiles de PCB; sin embargo, surge la necesidad de analizar si es posible incrementar la cantidad de ciclos de uso sin afectar el desempeño o la confiabilidad de las mediciones realizadas. Además de lo anterior, también se requiere identificar las mejores condiciones de funcionamiento de los hornos de reflujo mediante el análisis de parámetros de operación como oxígeno y nitrógeno.

Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo principal reducir el SCRAP generado en el área de mantenimiento SMT mediante la implementación de un PCB perfil general, la extensión de vida útil de perfiles específicos y el uso de herramientas de ingeniería industrial orientadas a la reducción de costos y tiempos de proceso. Además de evaluar el comportamiento de los perfiles de PCB y determinar una condición óptima de operación en hornos de reflujo, buscando mejorar la eficiencia del proceso y generar una reducción en costos y tiempos de operación [Andreu, 2024].

2. Métodos

El desarrollo del trabajo se realizó en el área de SMT, mediante la evaluación de perfiles de PCB y el análisis de condiciones de operación de hornos de reflujo. Inicialmente se seleccionaron diferentes modelos de perfiles PCB para realizar pruebas de vida útil. Se realizó una inspección visual y funcional de cada modelo antes de iniciar el estudio para verificar las condiciones iniciales de operación. Posteriormente, los perfiles fueron sometidos a diferentes ciclos de procesamiento

FIRST VIEW

y se registró el comportamiento térmico mediante el software utilizado para el monitoreo de perfiles. Como criterio de aceptación se utilizó el PWI (Process Window Index), herramienta utilizada para evaluar la capacidad y estabilidad de los perfiles térmicos durante procesos de soldadura por reflujo [GmbH, 2021]. Los parámetros utilizados para su evaluación fueron establecidos por la empresa, considerando valores de aceptación entre 0 y 90%, valores de alerta entre 91 y 100%, y valores mayores a 101% como no aceptables.

Una vez concluido el estudio de vida útil, se procedió a determinar la condición óptima de los hornos de reflujo. Para ello se obtuvo información histórica de las líneas SMT equipadas con hornos. Los datos se extrajeron mediante el sistema interno de la empresa y posteriormente fueron organizados y procesados mediante hojas de cálculo de Excel. Finalmente, se realizaron análisis y gráficas de comportamiento de los parámetros de oxígeno (O_2) y nitrógeno (N_2), utilizando promedios diarios y mensuales con la finalidad de identificar las líneas con mejores condiciones operativas.

3. Resultados

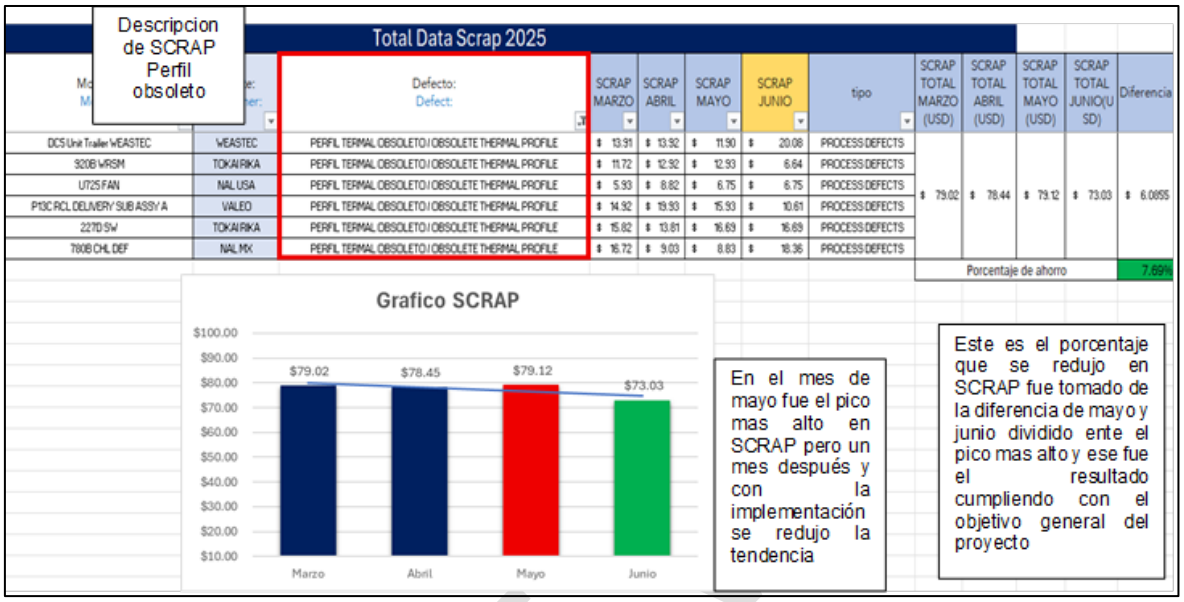
Reducción del SCRAP

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos; antes de la implementación del proyecto se presentó el valor más alto de SCRAP registrado en el área de mantenimiento SMT con un total de $\$79{,}119\ USD$, mientras que después se registró un valor de $\$73{,}033\ USD$, representando una reducción de $\$6{,}085\ USD$, equivalente a 7.69% de disminución después de la aplicación.

Además de la disminución observada en costos, se identificó una reducción en materiales desperdiciados derivados de la fabricación y reemplazo de perfiles específicos. Antes de la implementación del proyecto, cada cambio de modelo requería la elaboración de nuevos perfiles y actividades adicionales de configuración, lo que generaba costos asociados a material, mano de obra y tiempo de preparación. Al implementar un perfil general, fue posible disminuir la cantidad de actividades repetitivas realizadas por el personal del área de mantenimiento, permitiendo optimizar recursos y reducir tiempos asociados a la preparación de

FIRST VIEW

líneas de producción. Asimismo, se logró disminuir la dependencia de múltiples perfiles específicos utilizados anteriormente, facilitando la administración y control de materiales dentro del área.



Fuente: elaboración propia.

Figura 1 Resultados de Scrap.

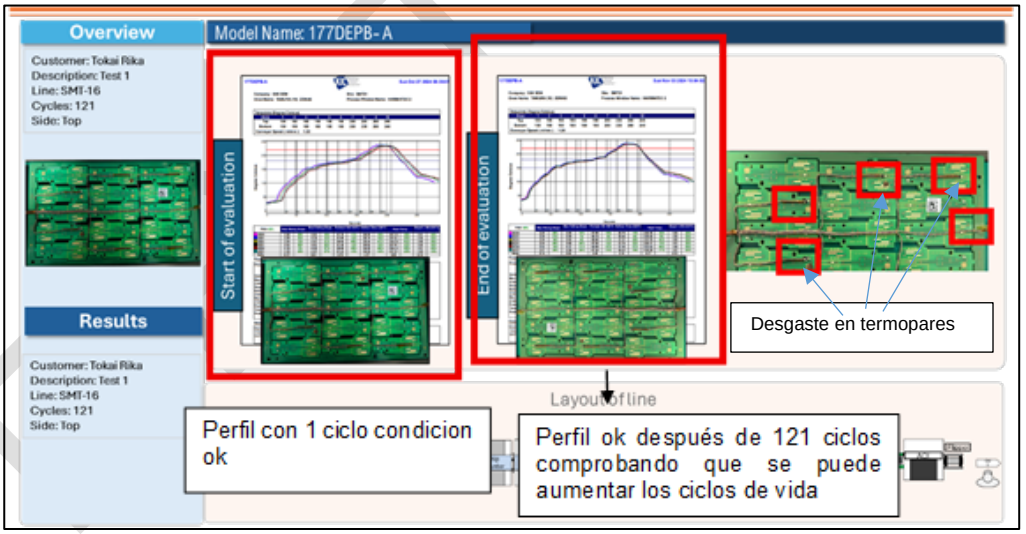
Los resultados observados muestran que pequeñas mejoras implementadas en procesos que se realizan continuamente pueden generar beneficios acumulativos importantes. Aunque la disminución obtenida en un periodo mensual puede parecer limitada, al proyectar los resultados a periodos mayores el impacto económico puede representar una reducción significativa de costos operativos.

Extensión de vida útil de perfiles PCB

El estudio realizado para determinar la vida útil máxima de los perfiles específicos se desarrolló mediante la selección de modelos representativos y la evaluación periódica cada diez ciclos de procesamiento. Inicialmente el proceso interno consideraba una vida útil máxima de cincuenta ciclos; sin embargo, no existía evidencia técnica que justificara dicho valor. Debido a ello se desarrolló una evaluación para analizar el comportamiento de diferentes modelos durante múltiples ciclos. Durante las pruebas se observó que los perfiles evaluados mantuvieron

estabilidad térmica y conservaron un comportamiento aceptable aun después de superar el límite establecido inicialmente.

Durante las inspecciones realizadas mostradas en la Figura 2, se observó que el desgaste físico se presentaba principalmente en zonas cercanas a termopares y puntos de unión sometidos continuamente a temperatura. En algunos casos se identificó cambio de coloración y deterioro superficial derivado de la exposición térmica; sin embargo, estos cambios no afectaron significativamente el comportamiento funcional del perfil. Los resultados obtenidos durante la evaluación permitieron observar que el comportamiento térmico mantuvo una tendencia estable durante las diferentes etapas del proceso, incluyendo calentamiento inicial, estabilización y enfriamiento. Asimismo, las variaciones observadas entre un ciclo y otro fueron mínimas y permanecieron dentro de los límites establecidos por la empresa. La estabilidad observada durante las pruebas indica que los perfiles mantienen capacidad para realizar mediciones confiables incluso después de superar el límite inicialmente establecido.

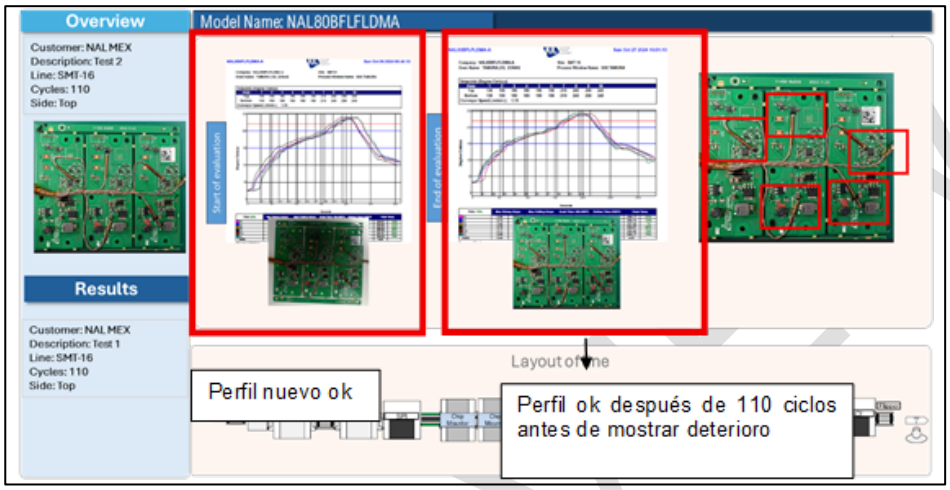


Fuente: elaboración propia.

Figura 2 Justificación del modelo 1.

Los resultados correspondientes al segundo modelo mostraron un comportamiento similar. Se identificó desgaste físico superficial derivado de la exposición a temperatura, pero sin alteraciones importantes en el desempeño térmico del perfil.

En el modelo 2 mostrado en la Figura 3 se observa que el comportamiento del perfil permaneció uniforme durante las diferentes evaluaciones realizadas. A pesar de existir diferencias físicas entre los modelos evaluados, los resultados obtenidos mostraron tendencias similares respecto al desempeño térmico.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3 Justificación del modelo 2.

Las mediciones obtenidas permitieron identificar que las temperaturas máximas y mínimas permanecieron relativamente constantes durante el procesamiento. De igual manera, los valores asociados al índice PWI permanecieron dentro de los límites considerados aceptables. Los resultados muestran que el deterioro físico no necesariamente representa una pérdida inmediata de funcionalidad y permiten considerar la posibilidad de extender la vida útil bajo condiciones controladas.

Análisis de condiciones de hornos

Posteriormente, como se observa en la Tabla 1, se realizó un análisis histórico de los hornos SMT10, SMT14 y SMT20 considerando variables como temperatura máxima, niveles de oxígeno y consumo de nitrógeno. La información histórica obtenida permitió identificar diferencias entre líneas y determinar condiciones de operación con mayor estabilidad.

Inicialmente se identificó una gran cantidad de información almacenada dentro de los sistemas de monitoreo, por lo que fue necesario realizar actividades de filtrado

y organización para facilitar su análisis. Debido al volumen de datos generado diariamente, se emplearon herramientas de Excel para agrupar y procesar la información. A partir del análisis realizado fue posible observar diferencias importantes entre las líneas evaluadas. Algunas presentaban variaciones mayores en parámetros de oxígeno y nitrógeno, mientras que otras mantenían un comportamiento más estable durante los periodos analizados. La estabilidad en estos parámetros es importante debido a que influye directamente en las condiciones del proceso térmico y en la calidad de la soldadura realizada sobre las tarjetas PCB. Una variación importante puede afectar el comportamiento del perfil térmico y generar desviaciones durante el proceso productivo.

Tabla 1 Datos históricos del horno.

FEBRERO SMT21					
Date	*SMT line*	*Promedio O2 (PPM'S)*	*Promedio N2 (L/min)*	*Objetivo PPM*	*Objetivo consumo*
25/02/01	SMT21	992.53	383.95	800	250
25/02/02	**SMT21**	**0**	**0**	800	250
25/02/03	**SMT21**	**0**	**0**	800	250
25/02/04	SMT21	789.75	354.93	800	250
25/02/05	SMT21	945.80	354.14	800	250
25/02/06	SMT21	881.07	354.10	800	250
25/02/07	SMT21	737.52	361.86	800	250
25/02/08	SMT21	667.24	381.30	800	250
25/02/09	**SMT21**	**0**	**0**	800	250
25/02/10	SMT21	620.31	380.36	800	250
25/02/11	SMT21	634.45	379.30	800	250
25/02/12	SMT21	639.94	379.25	800	250
25/02/13	SMT21	719.68	379.14	800	250
25/02/14	SMT21	796.42	378.91	800	250
25/02/15	SMT21	688.56	378.99	800	250
25/02/16	**SMT21**	**0**	**0**	800	250
25/02/17	SMT21	586.35	380.48	800	250
25/02/18	SMT21	692.00	378.79	800	250
25/02/19	SMT21	686.87	379.18	800	250
25/02/20	SMT21	612.60	380.75	800	250
25/02/21	SMT21	1276.76	327.33	800	250
25/02/22	SMT21	1165.87	330.68	800	250
25/02/23	**SMT21**	**0**	**0**	800	250
25/02/24	SMT21	1161.42	354.44	800	250
25/02/25	SMT21	1142.30	349.90	800	250
25/02/26	SMT21	1244.52	336.17	800	250
25/02/27	SMT21	1152.36	353.22	800	250
25/02/28	SMT21	1133.83	353.47	800	250

Fuente: elaboración propia.

Monitoreos

- **Semanal**. Una vez seleccionada la línea piloto se inició un monitoreo semanal mostrado en la Figura 4, mediante perfilado térmico y registro de parámetros

del horno. Durante el monitoreo semanal se observó que los perfiles térmicos presentaron un comportamiento consistente entre evaluaciones. Las mediciones obtenidas mostraron una variabilidad reducida y permanecieron dentro de los parámetros establecidos por la empresa. Asimismo, las revisiones periódicas permitieron identificar oportunamente posibles desviaciones antes de que estas afectaran directamente la producción.

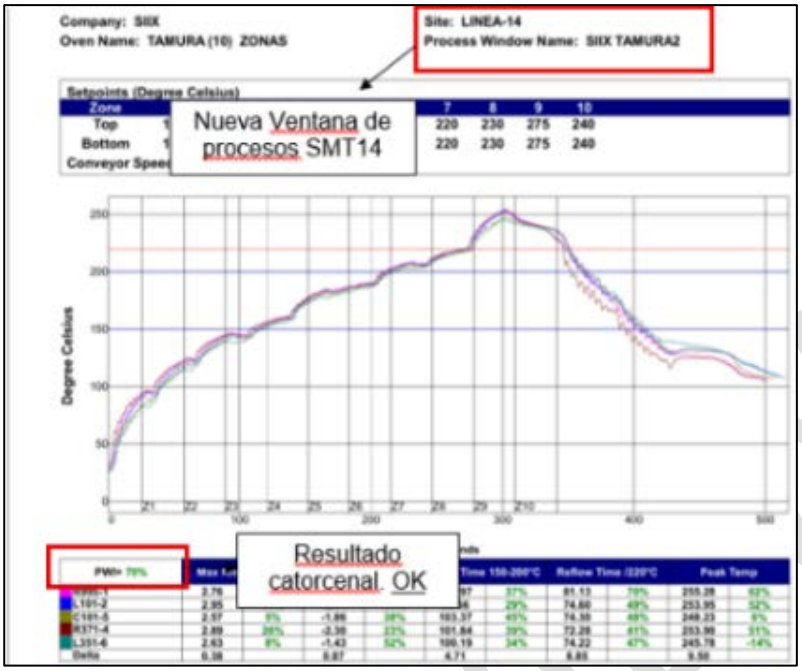


Fuente: elaboración propia.

Figura 4 Perfilado semanal.

- **Quincenal**. Posteriormente se implementó un monitoreo catorcenal con la finalidad de validar la repetibilidad y estabilidad del proceso durante periodos más amplios de operación. El objetivo principal de esta etapa consistió en verificar que las condiciones identificadas durante el monitoreo semanal pudieran mantenerse bajo condiciones normales de producción sin presentar variaciones significativas. Durante el seguimiento realizado se observó que los perfiles térmicos mantuvieron un comportamiento uniforme respecto a las evaluaciones anteriores como se puede observar en la Figura 5. Las curvas térmicas registradas conservaron una tendencia estable durante las diferentes etapas del proceso de calentamiento y enfriamiento, permitiendo identificar una adecuada repetibilidad entre mediciones. Asimismo, los valores obtenidos del índice PWI permanecieron dentro de los límites establecidos por la empresa. Las diferencias encontradas entre una medición y otra fueron mínimas y no representaron un riesgo para la estabilidad del proceso productivo.

FIRST VIEW



Fuente: elaboración propia.

Figura 5 Resultados monitoreo quincenal.

Los resultados obtenidos muestran que las condiciones seleccionadas para el proceso presentan un comportamiento consistente durante periodos prolongados de trabajo. Esto permite disminuir la necesidad de ajustes frecuentes en los hornos y facilita el control de parámetros operativos por parte del personal responsable. Adicionalmente, el monitoreo quincenal permitió observar que algunas pequeñas variaciones identificadas durante las mediciones podrían asociarse a factores externos relacionados con condiciones ambientales, actividades de mantenimiento o cambios de producción. Sin embargo, estas variaciones permanecieron dentro de los parámetros aceptables y no afectaron significativamente el desempeño general del proceso.

- **Mensual**. Con la finalidad de verificar el comportamiento del proceso durante periodos más extensos y evaluar la estabilidad de las condiciones seleccionadas a largo plazo, se realizó un monitoreo mensual, cuyos resultados se muestran la Figura 6. Los resultados obtenidos durante este periodo muestran que el comportamiento general del proceso mantuvo una

tendencia estable y uniforme. Las evaluaciones realizadas indican que los perfiles térmicos continúan operando bajo condiciones aceptables y conservan un comportamiento similar al observado durante las evaluaciones semanales y quincenales.



Fuente: elaboración propia.

Figura 6 Resultados monitoreo mensual.

La implementación de monitoreos periódicos representa una herramienta importante para identificar posibles desviaciones antes de que estas puedan convertirse en problemas que afecten la producción. De esta manera, es posible tomar acciones preventivas y mantener un mayor control sobre las condiciones operativas del proceso.

Al realizar la comparación entre los distintos periodos evaluados fue posible identificar que las variaciones registradas durante el proceso permanecieron relativamente constantes y no mostraron desviaciones importantes. Esto permite considerar que las condiciones implementadas presentan estabilidad suficiente para ser utilizadas durante periodos continuos de operación.

Durante esta etapa también fue posible observar una disminución en la necesidad de realizar ajustes correctivos sobre los equipos debido a que las condiciones

previamente establecidas proporcionaban un mejor control de los parámetros térmicos del proceso. Otro aspecto importante observado durante esta etapa corresponde a la disminución de actividades asociadas con inspecciones adicionales y ajustes no programados. Esto contribuye directamente a mejorar la disponibilidad operativa de las líneas de producción y reduce tiempos relacionados con actividades que no generan valor al proceso.

Los resultados mensuales obtenidos permiten observar que el comportamiento del sistema mantiene condiciones adecuadas de funcionamiento y proporciona evidencia suficiente para considerar la implementación permanente de las mejoras desarrolladas durante el trabajo.

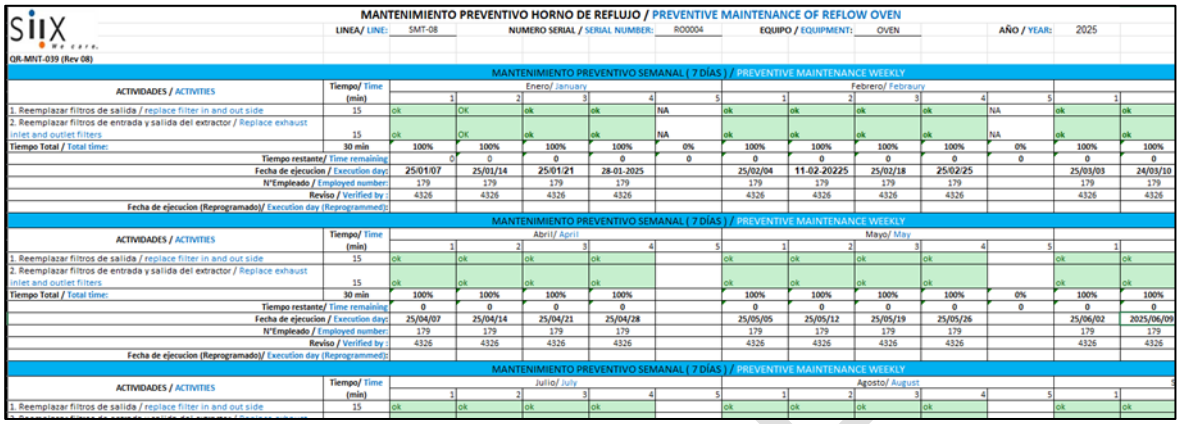
Mantenimiento

Una vez realizadas las actividades de mantenimiento en los equipos seleccionados, se llevó a cabo una nueva evaluación con la finalidad de verificar el impacto generado sobre las condiciones operativas de los hornos. Los resultados obtenidos (Figura 7), muestran una mejora en la estabilidad de las variables evaluadas después de la intervención realizada. Durante las mediciones posteriores se identificó una disminución en la variabilidad observada anteriormente y una respuesta más uniforme en el comportamiento de los parámetros monitoreados. Asimismo, se observó una reducción en las fluctuaciones relacionadas con el consumo de nitrógeno y los niveles de oxígeno presentes durante el proceso. Este comportamiento permitió identificar condiciones de operación más estables para el seguimiento del proceso térmico. De acuerdo con la literatura consultada, el control de la atmósfera durante la soldadura por reflujo es un factor relevante para mantener condiciones adecuadas de procesamiento y reducir la presencia de efectos asociados con la oxidación.

Los resultados obtenidos indican que las actividades preventivas y correctivas representan una parte importante dentro de los procesos industriales debido a que permiten mantener estabilidad operacional y mejorar el desempeño general de los equipos utilizados durante la producción. Además, el seguimiento realizado después del mantenimiento permitió confirmar que las mejoras implementadas no

FIRST VIEW

solo presentan resultados inmediatos sino también beneficios relacionados con el desempeño futuro de los equipos y la disminución de posibles fallas.



MANTENIMIENTO PREVENTIVO HORNO DE REFLUJO / PREVENTIVE MAINTENANCE OF REFLOW OVEN

LINEA/ LINE: SMT-08 | NUMERO SERIAL / SERIAL NUMBER: RO0004 | EQUIPO / EQUIPMENT: OVEN | AÑO / YEAR: 2025

QR-MNT-039 (Rev 08)

MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMANAL (7 DÍAS) / PREVENTIVE MAINTENANCE WEEKLY

ACTIVIDADES / ACTIVITIES	Tiempo/ Time (min)	Enero/ January					Febrero/ Febraury						
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	
1. Reemplazar filtros de salida / replace filter in and out side	15	ok	OK	ok	ok	NA	ok	ok	ok	ok	NA	ok	ok
2. Reemplazar filtros de entrada y salida del extractor / Replace exhaust inlet and outlet filters	15	ok	OK	ok	ok	NA	ok	ok	ok	ok	NA	ok	ok
Tiempo Total / Total time:	30 min	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%
Tiempo restante/ Time remaining		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fecha de ejecucion / Execution day:		25/01/07	25/01/14	25/01/21	28-01-2025		25/02/04	11-02-20225	25/02/18	25/02/25		25/03/03	24/03/10
N°Empleado / Employed number:		179	179	179	179		179	179	179	179		179	179
Reviso / Verified by :		4326	4326	4326	4326		4326	4326	4326	4326		4326	4326
Fecha de ejecucion (Reprogramado)/ Execution day (Reprogrammed):													

MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMANAL (7 DÍAS) / PREVENTIVE MAINTENANCE WEEKLY

ACTIVIDADES / ACTIVITIES	Tiempo/ Time (min)	Abril/ April					Mayo/ May						
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	
1. Reemplazar filtros de salida / replace filter in and out side	15	ok	ok	ok	ok		ok	ok	ok	ok		ok	ok
2. Reemplazar filtros de entrada y salida del extractor / Replace exhaust inlet and outlet filters	15	ok	ok	ok	ok		ok	ok	ok	ok		ok	ok
Tiempo Total / Total time:	30 min	100%	100%	100%	100%		100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%
Tiempo restante/ Time remaining		0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0
Fecha de ejecucion / Execution day:		25/04/07	25/04/14	25/04/21	25/04/28		25/05/05	25/05/12	25/05/19	25/05/26		25/06/02	2025/06/09
N°Empleado / Employed number:		179	179	179	179		179	179	179	179		179	179
Reviso / Verified by :		4326	4326	4326	4326		4326	4326	4326	4326		4326	4326
Fecha de ejecucion (Reprogramado)/ Execution day (Reprogrammed):													

MANTENIMIENTO PREVENTIVO SEMANAL (7 DÍAS) / PREVENTIVE MAINTENANCE WEEKLY

ACTIVIDADES / ACTIVITIES	Tiempo/ Time (min)	Julio/ July					Agosto/ August						
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	
1. Reemplazar filtros de salida / replace filter in and out side	15	ok	ok	ok	ok		ok	ok	ok	ok		ok	ok

Fuente: elaboración propia.

Figura 7 Resultados posteriores a mantenimiento.

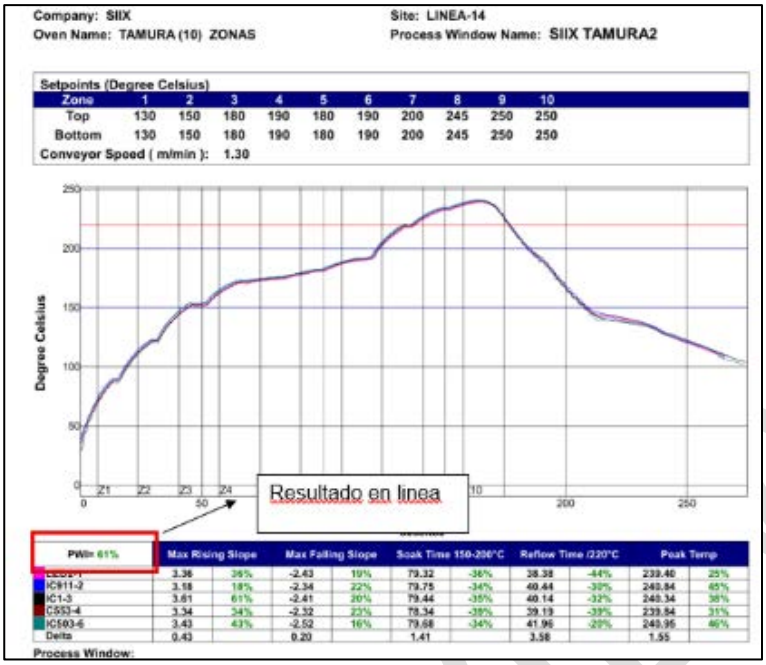
Perfil general PCB

Durante la etapa final del proyecto se realizó la implementación del PCB perfil general considerando las condiciones identificadas durante las etapas previas de evaluación y validación. Los resultados obtenidos en la línea (Figura 8) muestran un valor aproximado de 61% de PWI, el cual se encuentra dentro de los límites aceptables establecidos por la empresa para el control del proceso térmico.

La evaluación final ayuda a verificar que el perfil implementado cumple con los criterios establecidos para temperatura, estabilidad y comportamiento térmico durante el procesamiento. Asimismo, se observó una disminución en la cantidad de actividades necesarias para preparación de perfiles específicos utilizados anteriormente. La implementación del perfil general redujo actividades repetitivas relacionadas con cambios frecuentes y preparación de nuevos materiales.

Los resultados obtenidos durante esta etapa indican que la implementación desarrollada presenta capacidad suficiente para mantener estabilidad dentro del proceso productivo y mejora la eficiencia operacional mediante una reducción de actividades innecesarias. Adicionalmente, la utilización de un perfil general facilita actividades de seguimiento y control debido a que disminuye la complejidad asociada al manejo de múltiples perfiles específicos.

FIRST VIE



Fuente: Elaboración propia.

Figura 8 PCB en línea.

4. Discusión

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del trabajo permitieron analizar el comportamiento de los perfiles PCB sometidos a múltiples ciclos de procesamiento y determinar el impacto que estos presentan en su desempeño durante el proceso SMT. Los hallazgos observados muestran que, aunque existe un desgaste físico progresivo derivado de la exposición continua a altas temperaturas, dicho deterioro no afecta significativamente el comportamiento térmico del perfil ni altera la estabilidad del proceso durante el rango de evaluación realizado.

Uno de los aspectos más relevantes observados durante el estudio corresponde al comportamiento del índice de ventana de proceso (PWI), el cual permaneció dentro de los límites aceptables definidos por la empresa. Este resultado es importante debido a que el PWI es utilizado como una herramienta para determinar qué tan cercano se encuentra un proceso respecto a sus límites de especificación y, por lo tanto, constituye un indicador de estabilidad y confiabilidad del proceso térmico. Los perfiles evaluados mantuvieron valores adecuados aun después de superar el número de ciclos establecidos inicialmente por la organización.

FIRST VIEW

Los resultados obtenidos indican que el criterio previamente establecido para determinar la vida útil de los perfiles PCB podría estar basado en condiciones conservadoras. Esto representa una oportunidad importante de mejora, ya que los perfiles utilizados inicialmente con un límite de 50 ciclos demostraron la capacidad de operar hasta 100 ciclos sin afectar la estabilidad del proceso ni comprometer la calidad de la información obtenida durante el perfilado térmico [Andreu, 2024].

Además del comportamiento térmico observado, otro aspecto importante identificado durante el desarrollo del proyecto fue la presencia de desgaste físico en diferentes elementos de los perfiles utilizados. Durante las inspecciones realizadas se identificó deterioro en conexiones, termopares y zonas sometidas a exposición directa a temperatura. Sin embargo, a pesar de estas condiciones, los perfiles mantuvieron un comportamiento funcional adecuado. Lo anterior permite considerar que la apariencia física de un componente no necesariamente representa una afectación directa sobre su desempeño operativo. En muchos casos dentro de los procesos de manufactura se realizan reemplazos basados únicamente en criterios visuales o preventivos, lo cual puede generar costos adicionales y desperdicio de recursos [Altertecnia, 2024]. La evidencia obtenida durante este estudio permite sustentar decisiones basadas en resultados medibles y no únicamente en criterios visuales.

Otro aspecto relevante durante el desarrollo del proyecto fue el análisis histórico realizado sobre los hornos de reflujo instalados en las líneas SMT. La gran cantidad de información generada diariamente representa un reto importante para los procesos de análisis y toma de decisiones. Inicialmente se consideró realizar un análisis directo de toda la información obtenida; sin embargo, la gran cantidad de datos provocaba problemas durante su procesamiento y análisis. Por tal motivo se decidió utilizar herramientas de Excel para organizar y simplificar la información mediante la obtención de promedios diarios y mensuales. La implementación de esta metodología permitió reducir considerablemente la variabilidad observada en los datos y facilitó la identificación de tendencias relacionadas con el comportamiento de oxígeno (O_2) y nitrógeno (N_2).

FIRST VIEW

La utilización de herramientas estadísticas y de análisis representa una ventaja importante dentro de los procesos industriales debido a que permite convertir grandes volúmenes de información en datos útiles para la toma de decisiones [Atlas Copco, s. f.; Minitab, s. f.]. En este caso, el análisis permitió identificar líneas con condiciones más estables y adecuadas para la realización de pruebas posteriores.

Por otra parte, la implementación de mejoras orientadas a la optimización de recursos no solo presenta beneficios técnicos sino también económicos [Rosales, 2024]. Durante el desarrollo del proyecto se identificó una reducción potencial de costos relacionada con el incremento de vida útil de los perfiles PCB. Al disminuir la frecuencia de reemplazo de componentes y reducir el tiempo requerido para elaboración de nuevos perfiles, se logra un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles. Asimismo, la reducción en tiempos asociados a actividades de mantenimiento y preparación representa una mejora adicional en la eficiencia operativa del proceso. En entornos industriales donde los tiempos de producción y disponibilidad de equipos son factores críticos, incluso pequeñas mejoras pueden generar beneficios acumulativos significativos a mediano y largo plazo [López, 2022].

Otro aspecto que debe considerarse corresponde a las limitaciones presentes durante el estudio realizado. Aunque los resultados muestran un comportamiento favorable para los modelos analizados, la evaluación fue desarrollada considerando únicamente ciertos tipos de perfiles y determinadas líneas de producción. Debido a ello, no puede asegurarse que todos los modelos utilizados dentro de la empresa presenten exactamente el mismo comportamiento bajo condiciones similares. Por esta razón, se recomienda que futuras investigaciones consideren un mayor número de modelos PCB, diferentes configuraciones de proceso y periodos de evaluación más amplios que permitan validar los resultados obtenidos en este estudio.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten observar que la implementación de metodologías basadas en evidencia y análisis de datos representa una herramienta importante para la mejora continua dentro de los procesos industriales [Rodríguez, 2025]. La capacidad para identificar oportunidades de optimización y tomar

FIRST VIEW

decisiones sustentadas en información real permite mejorar la eficiencia operativa, reducir costos y mantener la estabilidad de los procesos productivos.

5. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos durante el desarrollo del presente trabajo, se concluye que los perfiles PCB utilizados en el proceso SMT pueden incrementar su vida útil de 50 a 100 ciclos sin presentar cambios significativos en su comportamiento térmico ni afectar la estabilidad del proceso. Los resultados obtenidos durante las pruebas realizadas muestran que los perfiles mantienen condiciones adecuadas de funcionamiento y permanecen dentro de los criterios de aceptación establecidos por la empresa.

La evaluación realizada mediante el índice de ventana de proceso permitió verificar que los perfiles evaluados mantienen estabilidad durante las etapas de calentamiento y enfriamiento del proceso térmico. Los valores obtenidos permanecieron dentro de los límites aceptables, demostrando que el incremento de ciclos de operación no representa una afectación significativa en el desempeño funcional de los perfiles.

Asimismo, el análisis histórico realizado sobre los hornos de reflujo permitió identificar condiciones de operación más estables mediante la evaluación de parámetros relacionados con oxígeno y nitrógeno. El procesamiento y organización de la información facilitaron la identificación de tendencias y permitieron establecer criterios para futuras pruebas y validaciones.

Desde el punto de vista económico, la implementación de esta mejora representa beneficios importantes debido a la reducción de costos relacionados con reemplazo de componentes, fabricación de perfiles y tiempo de trabajo técnico requerido para su preparación. La disminución de actividades innecesarias permite un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y contribuye al incremento de la eficiencia operativa.

Finalmente, el desarrollo de este proyecto permitió demostrar la importancia del análisis de datos y la utilización de herramientas de control para la toma de decisiones dentro de los procesos industriales. La aplicación de metodologías

FIRST VIEW

basadas en evidencia proporciona información confiable para la implementación de mejoras y fortalece las actividades relacionadas con la mejora continua dentro de la organización.

6. Referencias y Bibliografía

[1] Admin. (2025, 7 mayo). ¿Qué es un PLC y cómo funciona? Industrias GSL.

[2] Altertecnia. (2024, 10 enero). [Tiempos muertos] Controla las paradas con la Ley de Pareto. ALTERTECNIA.

[3] Andreu, I. (2024, 3 octubre). Lean Manufacturing: ¿qué es y cuáles son sus principios? APD España.

[4] Bolaños, G., & Bolaños, G. (2021, 15 abril). ¿Qué es el SMT? ISS Inserción SMT y Servicios.

[5] Copco, A. (s. f.). Análisis de capacidad de la máquina. Atlas Copco.

[6] Centro de ayuda de PTC. (s. f.). Tablas de parámetros. PTC.

[7] Deborah. (2023, 30 junio). Run at Rate identificación de riesgos potenciales. Pro QC.

[8] Equipo editorial, Etecé. (2024, 28 diciembre). Materia prima: qué es, tipos, importancia y ejemplos. Concepto.

[9] Gladys. (2023, 12 noviembre). ¿Qué es Cpk? Measure Control.

[10] GmbH, R. T. S. (2021, 6 febrero). Herramienta de monitorización PWI: perfilado y monitorización perfectos del proceso de soldadura. Rehm Group.

[11] Guía esencial de Flux para componentes electrónicos de soldadura. (s. f.). Chemtronics.

[12] How the modern solder reflow oven works? (s. f.). Bittele Electronics.

[13] IATF 16949: Estándar Automotriz. (s. f.). DNV México.

[14] Jamie. (2023, 25 octubre). Una introducción a SMT y plantillas. Tecan.

[15] KIC. (2024, 16 octubre). Home. KIC Thermal.

[16] Koh Young. (s. f.). Automated Optical Inspection Technology. Koh Young.

[17] Limitado, Z. N. T. C. (2019, 5 julio). Qué es SMT (Tecnología de montaje superficial). Hangzhou NeoDen Technology Co., Ltd.

FIRST VIEW

[18] López, B. S. (2022, 6 diciembre). Estudio de tiempos. Ingeniería Industrial Online.

[19] Microensamble.com. (2017, 18 mayo). Perfil de temperatura para circuitos impresos. Microensamble.

[20] Omron Europe B.V. (s. f.). VP9000. Omron.

[21] Peterson, Z. (2024, 1 julio). ¿Qué es un PCB o Placa de Circuito Impreso? Altium.

[22] Quijano, J. (2023, 17 octubre). Introducción a los estándares en la manufactura SMT: fundamentos esenciales. LinkedIn.

[23] Reflow Oven Process Subcommittee. (2015). IPC-7801 Reflow Oven Process Control Standard. IPC.

[24] Rodríguez, J. (2025, 19 mayo). Core Tools: ¿Qué son, cuáles son y para qué se utilizan? SPC Consulting Group.

[25] Rosales, J. (2024, 20 mayo). La importancia del departamento de mantenimiento en la empresa. Fracttal.

[26] Scroll, & Scroll. (2023, 24 julio). ¿Qué son los PLC? Nivihe S.A.

[27] Semiconductores, Q. (2023, 12 mayo). El silicio y los circuitos integrados. LinkedIn.

[28] SixMexico. (2024, 23 septiembre). Electronic Manufacturing Service (EMS) Companies in Mexico. SixMexico.

[29] Termopar: Tipos y aplicaciones. (s. f.). Omega Engineering.

[30] Usos del análisis de capacidad. (s. f.). Minitab.

[31] colaboradores de Wikipedia. (2025, 23 mayo). Microsoft Excel. Wikipedia, la Enciclopedia Libre.

[32] ¿Cómo se mide y mejora la capacidad de su proceso utilizando el índice Cck? (2023, 1 septiembre). LinkedIn.

[33] ¿Qué es el horno de reflujo SMT? (s. f.). Highleap Electronic.

FIRST VIEW