

UNIVERSIDAD DEL AZUAY

**DEPARTAMENTO DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN GESTIÓN DE MANTENIMIENTO
VERSIÓN II**

“Rediseño y estandarización del proceso de reparación de tarjetas electrónicas en la empresa PROCELEC Cía. Ltda.”

**Tesis previa a la obtención del título de
Magister en Gestión de Mantenimiento**

Autor:

Luis Daniel Ortega Astudillo

Director:

José Iván Rodrigo Coronel

Cuenca, Ecuador 2018

DEDICATORIA

A mis padres Luis y Soledad, a mis hermanos Christian y Gaby y a mis sobrinos: Dome, Nico, Danna y Julián que me han brindado todo su apoyo y han sido un pilar importante en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento al PhD. Iván Coronel por su apoyo y colaboración durante y después de la formación académica con sus conocimientos en las áreas que nos ha impartido, y el apoyo brindado durante el desarrollo de este trabajo.

De igual manera un agradecimiento a la empresa Procelec Cía. Ltda. por facilitar el tiempo y recursos para el desarrollo de este trabajo, de manera especial al Ing. Paúl Trelles Gerente Técnico de la empresa e Ing. José Palacios Gerente general de la misma.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aplicada trata sobre mejorar el proceso actual de reparaciones de tarjetas electrónicas dentro del área de mantenimiento, realizando un rediseño y estandarización al proceso actual, reduciendo tiempos y costos de mantenimiento, siendo de gran utilidad para las empresas dedicadas al desarrollo tecnológico a pequeña y mediana escala.

El rediseño y estandarización enfatiza la reducción de tiempos y costos, así como la mejora en la calidad del trabajo realizado y la determinación de un método para facilitar la detección de fallas de las tarjetas electrónicas, para esto se analizan varias metodologías en cuanto a mejora de procesos, y métodos de detección de fallas en equipos electrónicos, también se realizó la automatización de los métodos de prueba junto con los reportes de estas pruebas, para los informes finales se utilizó plantillas para agilizar el proceso.

Las pruebas fueron realizadas en la estación de reparación de la planta electrónica de la empresa PROCELEC Cía. Ltda., ubicada en la ciudad de Cuenca, se tomaron varias muestras con el proceso original y con el nuevo proceso, obteniendo mejoras significativas en cuanto al tiempo del ciclo de proceso, mejorando la eficiencia del mismo.

PALABRAS CLAVE


Mantenimiento, reparación, gestión de procesos, eficiencia, automatización.

ABSTRACT

This applied research work dealt with the improvement of the repair process of electronic boards within the maintenance area. The redesign and standardization of the current process were performed to reduce maintenance times and costs. This was very useful for companies dedicated to small and medium-scale technological development. This redesign and standardization emphasized the reduction of time and costs, the improvement in the quality of the work and the determination of a method to facilitate the detection of faults in the electronic boards. Several methodologies were analyzed in terms of process improvement and methods for detecting faults in electronic equipment. The automation of the test methods was carried out together with their reports. Templates were used for the final reports to streamline the process. The tests were carried out at the repair station of the electronic plant of PROCELEC Cía. Ltda. located in Cuenca. Several samples were taken with the original process and the new process, obtaining significant improvements in terms of efficiency and time of the process cycle.

KEYWORDS

Maintenance, repair, process management, efficiency, automation.



Translated by
Ing. Paul Arpi

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
PALABRAS CLAVE	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS.....	2
1.1 Objetivos.	2
1.2 Sitios y objetos de estudio.	2
1.2.1 Descripción de la empresa.....	2
1.3 Contexto de trabajo.....	5
1.4 Determinación del proceso actual.....	5
1.4.1 Conceptos de gestión de procesos.....	6
1.4.2 Cadena de valor.....	6
1.4.3 Mapa de procesos.....	7
1.4.4 Matriz de interacción de procesos.	8
1.4.5 Diagrama de entradas y salidas.....	8
1.4.6 Caracterización de procesos.....	10
1.4.7 Diagrama de flujo.	10
1.4.8 Procedimientos.....	10
1.4.9 Resumen de la situación actual.	14
1.5 Técnicas existentes para diagnóstico, reparación y mejoramiento de procesos. .	14
1.5.1 Técnicas existentes para detección de errores.	14
1.5.2 Estándares aplicados en la industria electrónica.....	19
1.5.3 Métodos y herramientas para la mejora de procesos.....	20
CAPÍTULO 2: PROCEDIMIENTO.....	24
2.1 Establecimiento del proceso.	24

2.2	Determinación del SMED.....	28
2.3	Implementación el SMED.....	28
CAPÍTULO 3: RESULTADOS.....		32
3.1.	Análisis de resultados, estandarización.....	32
3.1.1	PR-701.....	33
3.1.2	PR-4021.....	39
3.1.3	PR-4010.....	43
3.1.4	Consideraciones generales.....	48
CONCLUSIONES.....		57
RECOMENDACIONES.....		58
BIBLIOGRAFÍA.....		59
ANEXO 1.....		60
ANEXO 2.....		67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de ensamble electrónico SMD. Fuente: Procelec Cía. Ltda.	3
Figura 2. Equipos principales de la empresa Procelec Cía. Ltda. Fuente: Autor	4
Figura 3. Cadena de valor. Fuente: Autor.....	7
Figura 4. Mapa de Procesos. Fuente: Autor	8
Figura 5. Mapa de Procesos. Fuente: Autor.....	12
Figura 6. Inspección visual a simple vista. Fuente: Procelec Cia. Ltda.....	15
Figura 7. Inspección con microscopio a la izquierda y con visión artificial a la derecha. Fuente: Procelec Cia. Ltda.	16
Figura 8. Funcionamiento ASA. Fuente: Autor.	16
Figura 9. Resultados de un ASA, izquierda resistor, derecha capacitor	17
Figura 10. IPC Standards Tree.....	19
Figura 11. Pits de fórmula 1, un caso real de SMED.....	20
Figura 12. Ejemplo de aplicación de las 5's. Fuente: https://www.5stoday.com/what-is-5s/ 21	21
Figura 13. Conectores utilizando poka yokes.....	22
Figura 14. Contenido de una lección de un punto. Fuente: Procelec Cía. Ltda.....	23
Figura 15. Máquina Pilot para realizar el test eléctrico. Fuente: Procelec Cía. Ltda.....	24
Figura 16. Mapa de Procesos. Fuente: Autor.....	26
Figura 17. Organización original de los elementos usados para pruebas funcionales.	29
Figura 18. Nueva organización de los elementos usados para pruebas funcionales.	29
Figura 19. Software de pruebas Test-PRxx Fuente: Autor.....	30
Figura 20. Tarjeta PR-701 defectuosa. Fuente Procelec Cía. Ltda.....	33
Figura 21. Procedimiento realizado en las tarjetas PR-701. Fuente: Autor.	34
Figura 22. Procedimiento realizado en las tarjetas PR-701. Fuente: Autor.	36
Figura 23. Eficiencia real del ciclo de proceso. Fuente: Autor.....	48
Figura 24. Tiempo total de reparaciones.	56
Figura 25. Prueba realizada a una tarjeta PR-4010 antes de la reparación. Fuente: Autor 62	62
Figura 26. Prueba realizada a una tarjeta PR-701 luego de la reparación. Fuente: Autor. ..	63
Figura 27. Diagrama del arnés de pruebas para la tarjeta PR-701. Fuente Autor.	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de interacción de procesos.	9
Tabla 2. Diagrama SIPOC para el proceso de mantenimiento.....	10
Tabla 3. Ficha de Proceso.	11
Tabla 4. Procedimiento para la reparación de tarjetas electrónicas.....	13
Tabla 5. Probabilidad de fallas y soluciones de detección	15
Tabla 6. Comparación de fallas componentes que pueden ser detectados.....	17
Tabla 7. Ventajas de los equipos utilizados en el test eléctrico.....	18
Tabla 8. Desventajas de los equipos utilizados en el test eléctrico.....	18
Tabla 9. Procedimiento actualizado para la reparación de tarjetas electrónicas.	27
Tabla 10. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-701.	33
Tabla 11. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-701.	35
Tabla 12. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-701.....	37
Tabla 13. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-701.....	38
Tabla 14. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-701.....	38
Tabla 15. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-4021.	39
Tabla 16. Variaciones en el proceso de reparación de la tarjeta PR-4021.	40
Tabla 17. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-4021.	40
Tabla 18. Variaciones en el proceso de reparación de la tarjeta PR-4021.	41
Tabla 19. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4021.....	41
Tabla 20. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4021.....	42
Tabla 21 Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4021.....	43
Tabla 22. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-4010.	44
Tabla 23. Variaciones en el proceso de reparación de la tarjeta PR-4010.	44
Tabla 24. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-4010.	45
Tabla 25. Variaciones en el proceso de reparación de la tarjeta PR-4010.	45
Tabla 26. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4010.....	45
Tabla 27. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4010.....	47
Tabla 28. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4010.....	47
Tabla 29. Resumen de elementos sustituidos para PR-701.	49

Tabla 30. Resumen de elementos sustituidos para PR-4021.	49
Tabla 31. Resumen de elementos sustituidos para PR-4010.	49
Tabla 32. Resumen de tiempos de detección y sustitución de componentes.	50
Tabla 33. Resumen de tiempos de detección y sustitución de componentes.	51
Tabla 34. Tiempo medio de reparación para PR-701.....	51
Tabla 35. Resumen de tiempos de detección y sustitución de componentes.	51
Tabla 36. Tiempo medio de reparación para PR-4021.....	52
Tabla 37. Resumen de tiempos de detección y sustitución de componentes.	52
Tabla 38. Tiempo medio de reparación para PR-4021.....	53
Tabla 39. Tabla de pads analizados.	53
Tabla 40. Tabla de pads analizados.	54
Tabla 41. Tabla de pads analizados.	55
Tabla 42. Tabla de tiempos de ciclo.	56
Tabla 43. Datos obtenidos para la tarjeta PR-701 con el proceso original.	67
Tabla 44. Datos obtenidos para la tarjeta PR-4021 con el proceso original.	69
Tabla 45. Datos obtenidos para la tarjeta PR-4010 con el proceso original.	71
Tabla 46. Datos obtenidos para la tarjeta PR-701 con el nuevo proceso.	72
Tabla 47. Datos obtenidos para la tarjeta PR-4021 con el nuevo proceso.	73
Tabla 48. Datos obtenidos para la tarjeta PR-4010 con el nuevo proceso.	75

Autor: Luis Daniel Ortega Astudillo.

Trabajo de graduación.

Director: José Iván Rodrigo Coronel

Abril, 2018

“Rediseño y estandarización del proceso de reparación de tarjetas electrónicas en la empresa PROCELEC Cía. Ltda.”

INTRODUCCIÓN

En la industria de manufactura electrónica se desarrollan varios tipos de tarjetas de circuito impreso (PCB por sus siglas en inglés), las cuales requieren de mantenimiento o reparaciones, normalmente se tiene un proceso de pruebas para cada tarjeta, el cuál muchas veces es muy superficial, usualmente indicando la falla pero no la causa, además en ciertas ocasiones no se consideran todas las fallas, generando dependencia del diseñador de la tarjeta para detectar estos errores, esta dependencia puede generar retardos en las reparaciones.

Como solución a estos problemas se propone un rediseño y estandarización del proceso de reparación electrónica en el área de mantenimiento, atendiendo como punto principal a la detección de fallas, para esto se especializará por medio de capacitaciones a los técnicos encargados de reparaciones, junto con el uso de un software que permita gestionar las pruebas de funcionamiento.

En la industria electrónica ¿cómo varían los tiempos de reparación y costos de mantenimiento al aplicar una adecuada capacitación al personal junto el uso de un software para administración de pruebas en tarjetas electrónicas?

Este experimento mejorará significativamente el proceso de reparación de tarjetas electrónicas, el uso del software facilitará la detección de fallas, esto permitirá un menor uso de recursos, reduciendo las sustituciones innecesarias, todo esto representará un menor costo de mantenimiento, afectando de menor manera a la tarjeta de daños que se podrían presentar debido al desgaste generado por estas sustituciones y contaminación del ambiente.

CAPÍTULO 1: MATERIALES Y MÉTODOS

1.1 Objetivos.

El principal objetivo de esta investigación es:

- Diseñar un mejor proceso para la reparación de tarjetas electrónicas en el área de mantenimiento y aplicarlo en un tiempo de seis meses.

Además, como objetivos específicos tenemos:

- Diseñar el proceso de manera que los indicadores de calidad del mismo prioricen la satisfacción del cliente.
- Optimizar el proceso para obtener mayor eficiencia y eficacia de manera que permita reducir tiempos de mantenimiento, costos innecesarios y cuellos de botella, al eliminar o reducir actividades que no generen valor para la empresa.

1.2 Sitios y objetos de estudio.

1.2.1 Descripción de la empresa

La empresa Procelec Cía. Ltda. fue fundada en Quito-Ecuador en 1980 por un grupo de ingenieros expertos en Sistemas Eléctricos de Potencia. Creada como una compañía contratista de obras especializada en instalaciones eléctricas industriales, Procelec ha venido trabajando en el campo de Sistemas de Control desde 1992, implementando sistemas SCADA al integrar diversos sistemas de control y adquisición de datos.

La compañía es proveedor aprobado de varias compañías públicas y privadas en el país. PROCELEC mantiene una fuerte relación con Universidades e Institutos Politécnicos a través de proyectos “joint venture” y capacitación.

La misión de la empresa es la siguiente:

- Producir soluciones tecnológicas avanzadas para el transporte y la movilidad cuyo valor agregado esencial sea la creatividad del talento nacional. Integrar soluciones tecnológicas que superen las expectativas de nuestros clientes. Marcar la diferencia y evidenciar una tecnología nacional auténtica.

A continuación, tenemos la visión de la empresa Procelec:

- Ser un referente de innovación y desarrollo de soluciones tecnológicas para el transporte y la movilidad a nivel latinoamericano. Ser una alternativa calificada y requerida por nuestros clientes para la integración de soluciones tecnológicas avanzadas para el transporte y la movilidad. Ser un lugar donde las personas se sientan inspiradas para crear y nunca pierdan la confianza en su capacidad y posibilidades.”

La empresa cuenta con una planta electrónica en Cuenca donde se realiza los procesos de investigación y desarrollo de equipos electrónicos, así como el ensamble y mantenimiento de los mismos, en la figura 1 se observa una sección de la planta electrónica.



Figura 1. Área de ensamble electrónico SMD. Fuente: (Procelec Cía. Ltda., 2014)

Productos principales

Los productos principales que la empresa oferta son sistemas autónomos utilizados en tránsito y transporte.

Uno de los productos principales es el equipo **PR-4000** (Figura 2-a), el cual posee dos modos de funcionamiento de acuerdo al programa que tenga instalado:

- Controlador de paso a nivel (Para dar paso prioritario a trenes en vías férreas).
- Controlador de tráfico vehicular.

Además, sistemas de rastreo, equipos **PR-50** (Figura 2-c) y **PR-65** (Figura 2-d), que poseen las siguientes características:

- Comunicación de datos a través de una red 3G.
- Comunicación satelital de datos para zonas sin cobertura celular (solo PR-65).
- Batería para mantener el funcionamiento temporalmente en caso de desconexión de la alimentación
- Botón de pánico.
- Apagado del vehículo remotamente.
- Soporta accesorios como odómetro, medidor de nivel de gasolina.

PR-201, es un controlador de lámparas principalmente para alumbrado público, cuenta con las siguientes funcionalidades:

- Control por horarios (encendido/apagado, nivel de iluminación).
- Control de nivel de iluminación por estándares internacionales.

- Medición de parámetros eléctricos (V, I, Cos ϕ).
- Entrada de contacto seco (para sensores de presencia).

PR-300 (Figura 2-b) al ser un equipo genérico y modular permite varias funcionalidades, entre las que tenemos:

- Sistema de parqueaderos
- Control para torniquetes (monederos).
- Sistema de peajes.
- Detección de velocidad.
- Pesaje de vehículos.

a) Controlador de tráfico PR-4001



b) Equipo multipropósito PR-300



c) Equipo de rastreo PR-50



d) Equipo de rastreo híbrido PR-65



Figura 2. Equipos principales de la empresa Procelec Cía. Ltda. Fuente: Autor

Se eligió a Procelec Cía. Ltda. debido a que la empresa presenta nuevas soluciones, así como innovación tecnológica, permitiendo realizar en sus productos investigación y experimentos en el área de mantenimiento electrónico.

La empresa además presenta una gran variedad de equipos permitiendo el desarrollo del experimento en una amplia gama de componentes, además con la posibilidad de ir desarrollando nuevas herramientas para mejoras futuras.

1.3 Contexto de trabajo.

El presente trabajo se desarrollará en la estación de reparación de la planta electrónica de la empresa PROCELEC Cía. Ltda., ubicada en la ciudad de Cuenca.

Este trabajo de investigación aplicado fue seleccionado por ser uno de los procesos con mayor problemática en el área de mantenimiento y debe ser mejorado para reducir tiempos y costos. Para el desarrollo del trabajo se realizará un análisis para determinar cómo mejorar el proceso, utilizando varias herramientas para agilizar las actividades, entre las que se plantea incrementar la automatización el proceso también se plantea la utilización de un software para gestionar el proceso y el uso de nuevas herramientas para la detección de fallas, facilitando la tarea para el personal y haciéndolo en un tiempo mucho menor.

Para realizar el análisis de resultados los datos a ser tomados serán:

- Tiempo de diagnóstico.
- Tiempo de reparación.
- Costos de reparación.

Se emplearán las tarjetas electrónicas de dos equipos, en un tiempo determinado se tomarán datos utilizando el proceso actual de mantenimiento, durante este tiempo también se desarrollarán los nuevos procedimientos de pruebas, así como el software de gestión. El número de tarjetas a ser evaluadas dependerá de las fallas ocurridas, no existe un dato preciso de las cuantas tarjetas se reparan promedio por mes.

Además, se realizarán las capacitaciones en conocimientos de electrónica y programación básica a los técnicos.

Al implementar los nuevos programas de pruebas se procederá con el análisis de resultados a partir de los datos obtenidos y se determinarán las mejoras obtenidas con la metodología implementada, con esto se obtendrán los porcentajes de las variaciones de tiempos y costos, antes y después de la aplicación del nuevo proceso.

1.4 Determinación del proceso actual.

En esta sección se determinará el proceso actual que se desarrolla en la empresa, iniciando con una base teórica para facilitar el desarrollo, se determinará la situación actual y proceso actual, con el fin de determinar las actividades que deben ser mejoradas.

1.4.1 Conceptos de gestión de procesos.

A continuación, se analizarán algunos conceptos basados en la guía de gestión de procesos (Coronel, 2016). Siendo los más importantes:

Gestión:

Es la realización de acciones adecuadas y apegadas a un sistema basados en los objetivos de la organización, obteniendo resultados con el propósito de mejorarlos continuamente.

Gestión por procesos:

Es la realización de acciones de operación y administración de sistemas productivos, mediante equipos de trabajo, esto se realiza por procesos que permiten la obtención de resultados orientados hacia los clientes y grupos de interés.

Gestión de procesos:

“Es el trabajo de consecución de la mejora continua del desempeño de los procesos en aspectos de la calidad, la productividad, el rendimiento y la competitividad”, (Coronel, 2016) es muy común utilizar el ciclo de la mejora continua para esto.

Mejora continua:

Consiste en el perfeccionamiento de los procesos de una organización, siempre orientados hacia las expectativas del cliente. Se suele utilizar principalmente el ciclo de Deming o ciclo PHVA, que consiste en realizar los siguientes pasos en secuencia: Planear-Hacer-Verificar-Actuar, esto para obtener una retroalimentación correcta.

Algunos de los beneficios de esta práctica son la eliminación o reducción de las causas raíz y de las actividades que no agregan valor, mejora la calidad, productividad, competitividad.

Estrategias de mejora de los procesos:

Las estrategias más importantes de mejora son:

- Optimización de los procesos que agregan valor al cliente y para la organización.
- Implementación de procesos en paralelo.
- Gestión de los cuellos de botella.
- Actualización de los estándares de los procesos.

Reingeniería de procesos:

Es un cambio radical en el proceso, afectando su estructura y funcionalidad, mejorando drásticamente varios aspectos enfocados al cliente como calidad y productividad.

1.4.2 Cadena de valor.

Empezando con la determinación del proceso actual tenemos a cadena de valor de Michael Porter permite describir las actividades de un proceso, dividiéndolas en primarias y de apoyo.

Las actividades primarias son las que generan directamente valor para clientes y stakeholders, mientras que las de apoyo sirven de soporte para la realización de las actividades primarias.

En la figura 3 podemos observar la cadena de valor para el proceso de desarrollo de un sistema integrado de tránsito y transporte, las actividades que generan valor al cliente se encuentran en la parte inferior, mientras que en la parte superior tenemos las actividades de apoyo.



Figura 3. Cadena de valor. Fuente: Autor

1.4.3 Mapa de procesos.

Existen varios tipos de mapas de procesos, para este caso se ha determinado el uso del mapa de proceso según su naturaleza.

En la parte superior tenemos los procesos estratégicos, que son los que derivan de la estrategia empresarial y engloban a toda la organización, en la parte intermedia se ubican los procesos clave, que son los que generan valor de manera directa al cliente y en la parte inferior se encuentran los procesos de apoyo, que son los que facilitan la ejecución de los procesos clave.

Como se observa en la figura 4, tenemos los procesos estratégicos en la parte superior (el comité técnico conformado por los gerentes de varias áreas y la producción ecuatoriana que nace del plan estratégico de la empresa). Como procesos claves tenemos los procesos que generan valor al cliente, y en la parte inferior observamos los procesos de apoyo.

También se puede observar la interacción entre los procesos a través de las líneas que los comunican.

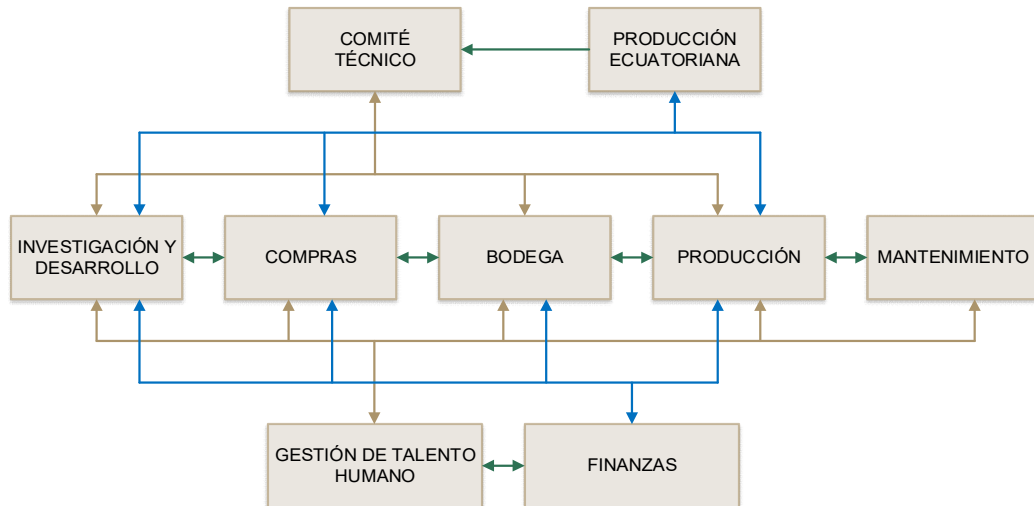


Figura 4. Mapa de Procesos. Fuente: Autor

1.4.4 Matriz de interacción de procesos.

Esta matriz nos permite ver la relación entre todos los procesos de la empresa, han sido tomados en cuenta nueve elementos para su respectiva interacción, los cuales son: comité técnico, producción ecuatoriana, compras, bodega, investigación y desarrollo, producción, mantenimiento, gestión de talento humano y finanzas.

La relación que se da en la matriz de interacción entre todos los elementos de la empresa Procelec permiten tener un adecuado funcionamiento, los detalles las relaciones entre procesos se detalla esta matriz en la tabla 1.

1.4.5 Diagrama de entradas y salidas.

El propósito del diagrama de entradas y salidas es particularizar y especificar la información de la matriz de interacción de procesos los mismos nos facilitan la obtención de información y su respectivo análisis en el caso de Procelec se toma en cuenta los nueve elementos de la matriz de interacción obteniendo así sus entradas y salidas. Este diagrama se puede observar en la tabla 2.

Tabla 1. Matriz de interacción de procesos.

Fuente: Autor, Basado en (Coronel, 2016)

	COMITÉ TÉCNICO	PRODUCCIÓN ECUATORIANA	COMPRAS	BODEGA	INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	PRODUCCIÓN	MANTENIMIENTO	GESTIÓN DE TALENTO HUMANO	FINANZAS
COMITÉ TÉCNICO				- Requerimiento de producto	- Necesidades del mercado	- Orden de Producción		- Contratación y capacitación de personal	- Presupuesto
PRODUCCIÓN ECUATORIANA	- Valor agregado de producción Nacional		- Disminución de compras de productos extranjeros		- Diseñar sistemas y productos ecuatorianos	- Fortalecer la producción nacional		- Incrementar la mano de obra ecuatoriana	- Reducción de costos
COMPRAS				- Materia prima - Insumos	- Insumos	- Insumos - Materia Prima	- Insumos - Repuestos	- Insumos	- Cotizaciones de materiales, herramientas, insumos
BODEGA	- Producto Terminado		- Órdenes de compra		- Materiales - Herramientas	- Materiales - Componentes - Insumos	- Materiales - Herramientas - Repuestos - Componentes	- Materiales de oficina	- Materiales de oficina
INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	- Sistema satisfaciendo necesidades del mercado	- Sistema desarrollado en el país	- Lista de materiales para ensambles -Archivos de fabricación	- Lista de materiales para ensambles		- Lista de materiales para ensambles -Archivos de diseño	- Lista de materiales para reparación -Archivos de diseño		- Presupuesto de materiales de ensamble
PRODUCCIÓN	- Producto terminado	- Ensamble realizado en el país		- Requerimiento de materiales	- Prototipos - Producto final - Retroalimentación para mejoras		- Equipos listos para pruebas		
MANTENIMIENTO			- Requerimientos de compra de materiales e insumos	- Requerimientos de materiales e insumos	- Retroalimentación para mejoras futuras en diseño	- Retroalimentación para mejoras futuras en producción			
GESTIÓN DE TALENTO HUMANO	- Talento humano disponible	- Capacitación del personal local	- Selección del personal	- Selección del personal	- Capacitación en áreas de ingeniería de HW y SW	- Capacitación en procesos de manufactura	- Capacitación en conocimientos de electrónica		
FINANZAS	- Proyección de gastos		- Aprobación de compras	- Aprobación de compras de repuestos e insumos	- Aprobación de Presupuesto para elaboración de proyectos	- Presupuesto de materiales de ensamble		-Presupuesto de talento humano	

*Tabla 2. Diagrama SIPOC para el proceso de mantenimiento.
Fuente: Autor, Basado en (Coronel, 2016)*

Proveedores	Mantenimiento	Clientes
1) Compras 2) Bodega 3) Investigación y Desarrollo 4) Producción 5) Gestión del talento humano		1) Compras 2) Bodega 3) Investigación y Desarrollo 4) Producción
Entradas		Salidas
1) Insumos, repuestos 2) Materiales, herramientas, Repuestos, componentes 3) Lista de materiales para reparación, archivos de diseño 4) Equipos listos para pruebas 5) Capacitación en conocimientos de electrónica; selección del personal		1) Requerimientos compra de materiales e insumos 2) Requerimientos de materiales e insumos 3) Retroalimentación para mejoras futuras de diseño 4) Retroalimentación para mejoras futuras en producción.

1.4.6 Caracterización de procesos.

El documento a utilizar para gestionar y explicar los procesos en Procelec es a través de la ficha de procesos, que contiene información como las principales características estructurales y funcionales de la empresa, esta ficha se observa en la tabla 3.

1.4.7 Diagrama de flujo.

Las diferentes actividades que se realizan en un proceso se lo hace mediante una representación gráfica en este caso un diagrama de flujos.

Para la elaboración de este diagrama se emplea la simbología ANSI, el mismo que muestra la información estructural y funcional que se requiere para realizar el proceso.

Como se observa en la figura 5 no es un proceso muy complejo, pero posee ciertas actividades que pueden presentar mucha dificultad.

1.4.8 Procedimientos.

En este caso al procedimiento se está tomando como un documento de especificaciones, registros e instructivos. Aquí estamos tomando en cuenta el procedimiento para la ejecución del proceso en donde están las especificaciones y los registros para realizar las actividades del mismo. Este procedimiento se puede observar en la figura 5 y los detalles en la tabla 4.

Tabla 3. Ficha de Proceso.
Fuente: Autor, Basado en (Coronel, 2016).

Denominación: Reparación de una tarjeta electrónica		No. 1
Tipo: Proceso		Hoja 1/1
		Fecha de Elaboración: 10/10/2017
Misión / Objetivo	Restaurar una tarjeta a un estado igual o mejor al que se encontraba antes de la falla	
Capacidad	Máximo 5 tarjetas por día.	
Dueño (Responsable / Ejecutor)	Técnico responsable de la estación de pruebas y reparación.	
Inicio	Recepción de la tarjeta afectada enviada por parte del cliente.	
Finalización	Tarjeta restaurada o dada de baja.	
Entradas	Insumos, repuestos, materiales, herramientas, archivos de diseño, capacitación.	
Proveedores	Producción, bodega, investigación y desarrollo, talento humano.	
Salidas	Requerimientos de compras, materiales, insumos, retroalimentación.	
Clientes	Compras, bodega, investigación y desarrollo y producción.	
Equipo de proceso	1 Técnico especialista en reparación	
Recursos	Insumos, repuestos, materiales, herramientas, listas de materiales, archivos de diseño, capacitaciones.	
Ciclo	Tiempo de ciclo: Variable según complejidad (desde 30 minutos meses hasta 2 días) Tipo de actividades: Trabajo de planta Frecuencia: Variable (En función de fallas de los equipos número de sistemas requeridos)	
Costos	\$ 20 por proceso, en promedio	
Indicadores	Cumplimiento de tiempos de: detección, reparación, pruebas y retorno. Costos de mantenimientos Cumplimiento de normas de calidad.	
Elaboró: Daniel Ortega	Revisó: Paúl Trelles	Aprobó: Paúl Trelles

Reparación de una tarjeta electrónica

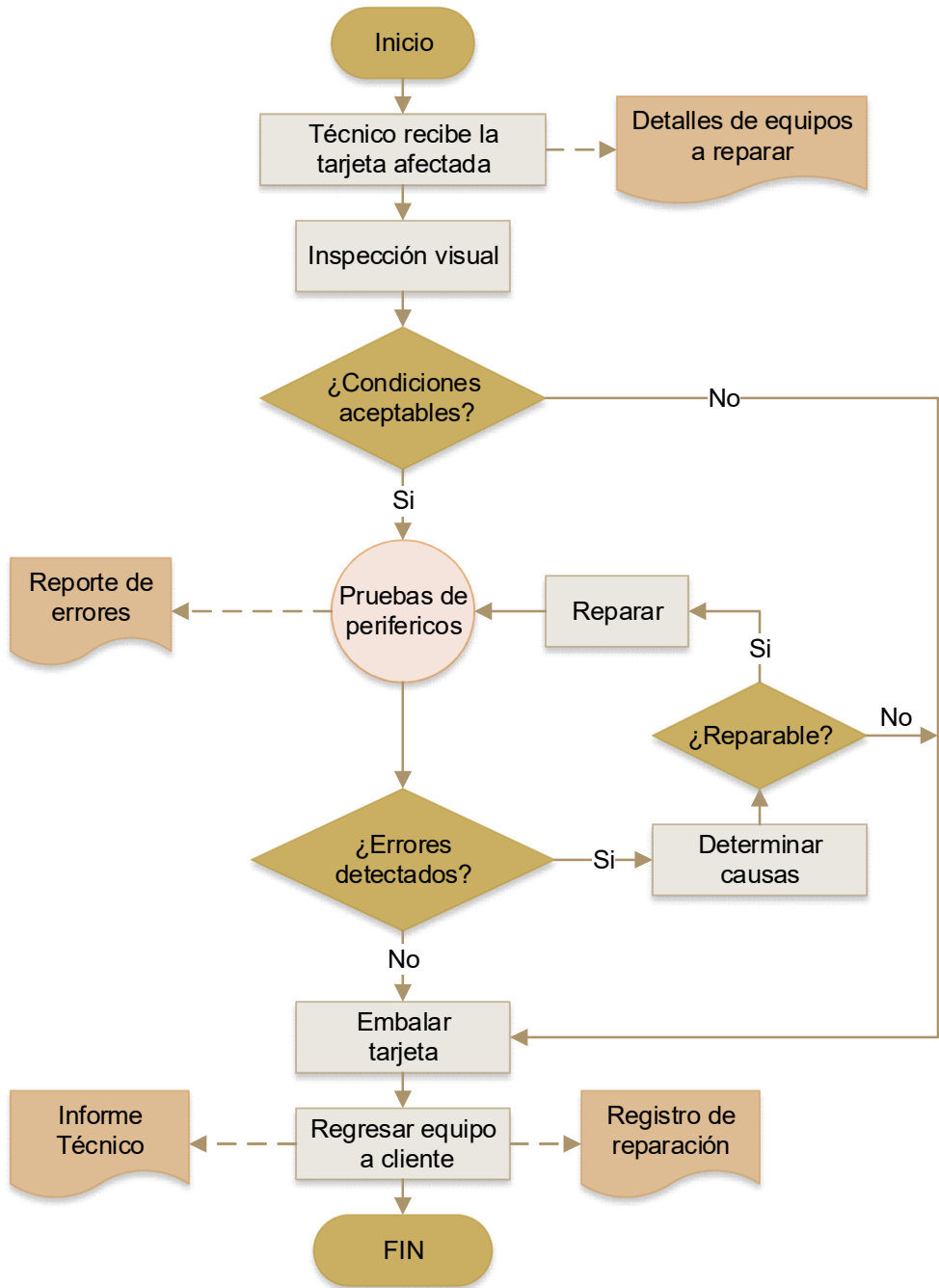


Figura 5. Mapa de Procesos.

Fuente: Autor.

Tabla 4. Procedimiento para la reparación de tarjetas electrónicas.
 Fuente: Autor, Basado en (Coronel, 2016).

<p style="text-align: center;">MANTENIMIENTO PROCEDIMIENTO PARA LA REPARACIÓN DE TARJETAS ELECTRÓNICAS</p>						Procelec Procedimientos para reparación Código: PPE-01 Versión: 1 Fecha: 26/04/2017
Ejecutor	Especificación	Código	Descripción de la actividad	Registro	Código	Indicador: meta
Técnico			Recepción de la tarjeta afectada.	Detalle de equipos a reparar	RPE-32	- Tiempo de recepción < 40 segundos por tarjeta
Técnico	- Aceptabilidad de tarjetas electrónicas	IPC-A-600	Inspección visual.			- Tiempo de inspección < 3 minutos
Técnico	Guía de pruebas	IPE-12	Pruebas de periféricos	Reporte de errores	RPE-27	- Cumplir al 100% la guía de pruebas - Cumplimiento del tiempo establecido por la guía (entre 1 y 12 minutos por tarjeta)
Técnico	- Esquemas electrónicos	RIE-01	Determinar causas			- Encontrar el 100% de las causas de fallas - Tiempo de detección y determinación si es reparable < 5 minutos por falla
Técnico	- Reproceso de ensambles electrónicos - Esquemas electrónicos	IPC-A-610 IPC-A-7711A IPC-A-7721A RIE-01	Reparar			- Tiempo de reparación < 5 minutos por falla - Cumplimiento del 100 % de la norma
Técnico	- Guía de embalaje	RPE-34	Embalar la tarjeta			- Cumplir al 100% la guía de embalaje
Técnico			Regresar el equipo al cliente	-Informe de daños - Registro de reparación	RPE-28 RPE-31	- Porcentaje de funcionalidad del equipo 100% en casos de tarjetas reparables.
ELABORADO: Daniel Ortega			REVISADO: Paúl Trelles		APROBADO: Paúl Trelles	

1.4.9 Resumen de la situación actual.

Actualmente el proceso de reparación de tarjetas electrónicas pasa por las siguientes etapas:

- Recepción de la tarjeta por parte del técnico a cargo de las reparaciones.
- Inspección visual para determinar deterioros.
- Prueba de funcionamiento, donde se detectan las secciones defectuosas.
- Se detectan las causas de las fallas encontradas en las secciones defectuosas.
- Se reemplazan las partes defectuosas, o se da de baja la tarjeta en casos irreparables.
- Se regresa a bodega o al cliente la tarjeta reparada.

El problema radica en el subproceso de detección de las causas de las fallas, las secciones pueden estar compuestas por varios componentes electrónicos, dependiendo de la falla se deben reemplazar pocos componentes en fallas sencillas y en otros se puede llegar a reemplazar todos los componentes de la sección. Otro problema de los reemplazos es que en el proceso se puede generar degradación de la tarjeta por el procedimiento mismo o por agentes externos.

La complejidad de los circuitos electrónicos puede generar complicaciones al momento de detectar fallas, debido a que los técnicos no siempre conocen el funcionamiento de todos los componentes de las tarjetas electrónicas, circuitos complejos pueden llevar más de 200 componentes, generando dependencia con el diseñador de la tarjeta, como consecuencia de esto se puede llegar a tener demoras de varios días en las reparaciones.

En el campo de la electrónica las investigaciones tienen un enfoque principal a la parte del diseño de la tarjeta por medio de normas que se han ido generalizando en el medio y de los cuidados y precauciones que se deben tener al momento de ensamblar estas tarjetas, lamentablemente para las reparaciones de tarjetas no existe mucha información, esto se debe a que muchas industrias alrededor del mundo prefieren realizar sustituciones de tarjetas antes que repararlas, en nuestro medio muchas empresas prefieren realizar reparaciones de las tarjetas por el valor reducido que representa con respecto a una sustitución de las mismas.

1.5 Técnicas existentes para diagnóstico, reparación y mejoramiento de procesos.

Para la mejora de los procesos se debe realizar la planeación de los mismos, como primer paso analizaremos las técnicas, estándares y herramientas existentes en el área de mantenimiento electrónico, puntualizando sus ventajas y desventajas. La selección o no de las mismas se detalla en el siguiente capítulo.

1.5.1 Técnicas existentes para detección de errores.

Como primer punto se analizarán técnicas existentes para la detección de errores, como se observa en la tabla 5, en la primera columna tenemos el tipo de falla, en la segunda la probabilidad de que ocurra la falla, en las tres siguientes columnas se indican las técnicas

que permiten determinar la falla, y en la última columna se indica la posibilidad de restaurar el equipo a un estado funcional.

Tabla 5. Probabilidad de fallas y soluciones de detección

Fuente: (Insaf, Salman, Alam, Aman, 2014)

Falla	Probabilidad de falla	Solución propuesta			Posibilidad de restauración
		Inspección visual	VI	Prueba funcional	
Puntos de soldadura	25%	√	√		Alto
Problemas de pistas	5%	√	√		Medio
Componentes discretos	30%		√	√	Alto
Circuitos integrados básicos	20%		√	√	Alto
Circuitos integrados con alto pinaje o personalizados	5%		√		Bajo
Software	15%			√	Medio

A continuación, se analizan las técnicas nombradas en la tabla 5.

Inspección visual

Se puede realizar por varios métodos, entre los que tenemos la realizada a simple vista donde se pueden determinar errores fáciles de distinguir como tarjetas deterioradas o quemadas, pistas rotas, componentes quemados, soldas frías, polaridad de componentes. En la figura 6 se observa la inspección realizada a simple vista, realizada en el proceso de ensamble en la empresa Procelec Cía. Ltda.

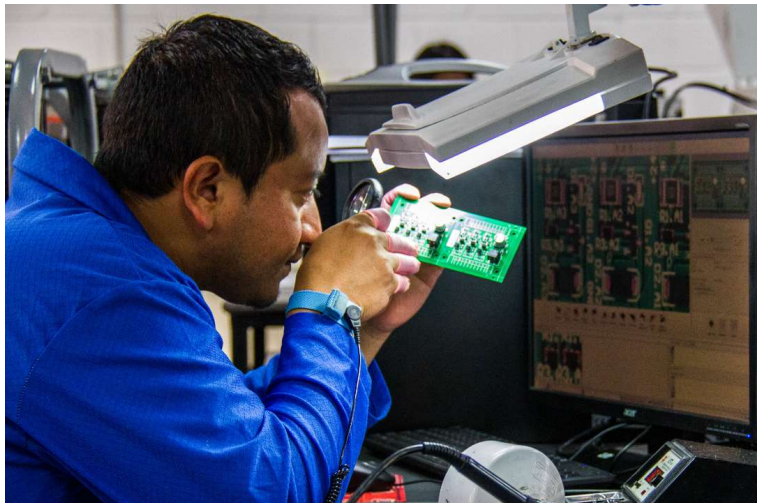


Figura 6. Inspección visual a simple vista. Fuente: (Procelec Cía. Ltda., 2014)

Otro método de inspección visual es por medio de un microscopio el cual permite ver con mayor detalles problemas en soldaduras o polaridades invertidas, sobre todo en componentes muy pequeños.

Como tercer método se tiene los sistemas de visión artificial (AOI Automatic Optical Inspection), los cuales se realizan de manera automática, este método es usado principalmente luego del ensamble de tarjetas, donde se revisan soldaduras, polaridades, alineación de componentes en los pads. En la figura 7 se presenta el segundo y tercer método.

En el proceso de reparación es muy común utilizar únicamente la inspección a simple vista.



Figura 7. Inspección con microscopio a la izquierda y con visión artificial a la derecha.
Fuente: (Procelec Cía. Ltda., 2014)

Además, como cuarto método tenemos los rayos X, que se utilizan para revisar pistas y soldaduras internas, como es el caso de los componentes BGA o tecnologías similares cuyos pines no pueden ser vistos desde el exterior.

La prueba VI o Análisis de firmas analógicas

En inglés Analog Signature Analysis (ASA), es una técnica empleada para detectar fallas en componentes electrónicos, su uso se da desde hace muchos años debido a su sencillez y preciso diagnóstico. No se requiere que el equipo este energizado o encendido para realizar la prueba, se requiere únicamente inyectar una señal analógica con frecuencia fija al componente que se desea testear, se debe medir su tensión y corriente para obtener una curva de tensión con respecto a la corriente (V-I), cada componente posee una curva que lo caracteriza. Una versión básica solo requiere de una fuente de tensión alterna, una resistencia para limitar la corriente (R1) y un osciloscopio de 2 canales con la función XY (para medir V y A), como se observa en la figura 8, donde E1 es el componente que se desea analizar.

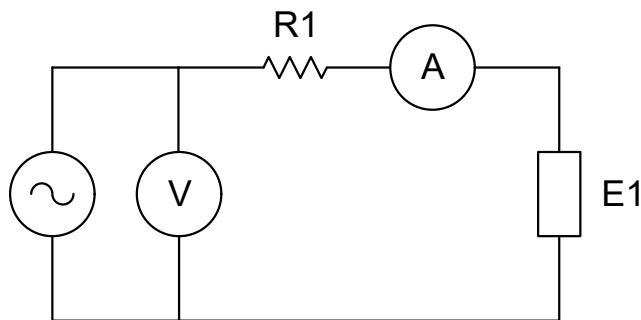


Figura 8. Funcionamiento ASA. Fuente: Autor.

En la figura 9 se observan los resultados de un experimento empleando esta técnica, en la parte izquierda tenemos los resultados en una resistencia, y en la derecha en un optoacoplador 6N137, en ambos casos se utiliza una frecuencia de 200Hz con una resistencia interna del equipo de 10KΩ (R1). Tenemos en verde la señal maestra de corriente de dicho componente en perfectas condiciones, mientras que en rojo el resultado de corriente de un componente de las mismas características, pero con daños funcionales.

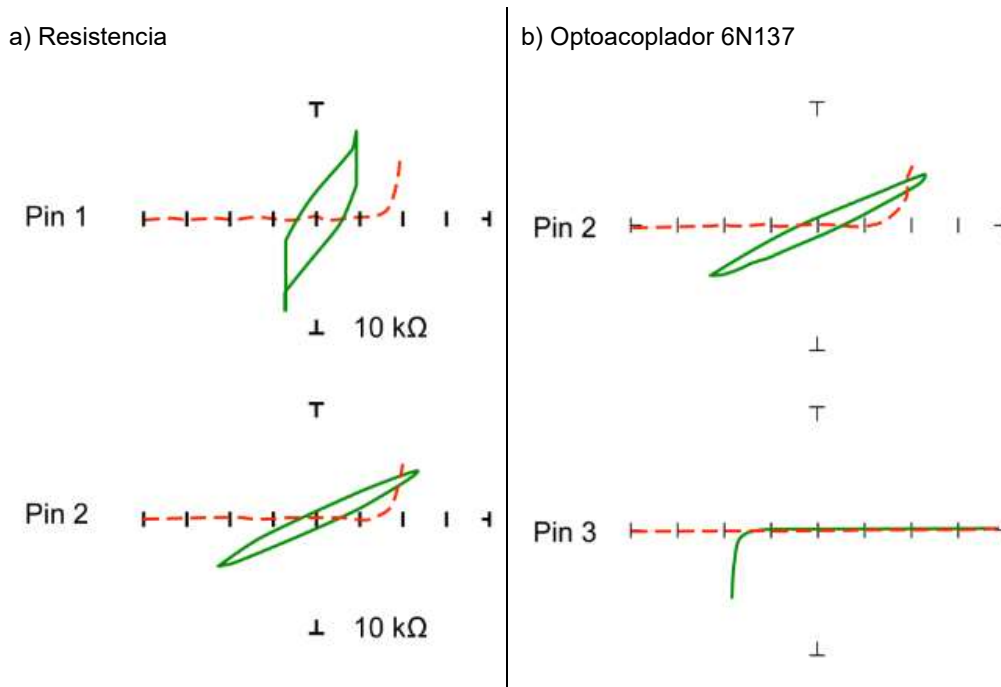


Figura 9. Resultados de un ASA, izquierda resistor (a), derecha capacitor (b)

Fuente. (Oeffering, Wade, 2011)

Para determinar que un componente presenta fallas basta con observar una notoria diferencia entre la curva maestra y la curva del elemento puesto a prueba, como se puede distinguir en las curvas de la figura 9.

Tabla 6. Aplicaciones de los métodos ASA y CSA

Fuente: (Oeffering, Wade, 2011)

Tipo de componente	ASA Huntron analyzer	CSA Agilent Network analyzer
Resistencias	√	√
Capacitores grandes	√	
Capacitores pequeños (<100 pF)		√
Inductores grandes	√	
Inductores pequeños (<100 uH)		√
Componentes Activos	√	√
Circuitos de radiofrecuencia		√

En la tabla 6 tenemos los componentes en los que se pueden detectar fallas utilizando este método, así como los que pueden ser detectados utilizando el CSA (Complex Signature

Analysis), el cuál realiza mediciones de manera similar, pero utilizando frecuencias variables en vez de frecuencias fijas en sus pruebas.

Test eléctrico (ICT In-Circuit Test)

En este método se realizan pruebas componente a componente, según el caso obtiene datos de impedancia, capacitancia, inductancia, así como también puede realizar el análisis de firmas analógicas, corto circuitos y circuitos abiertos.

Para este tipo de prueba se utilizan sondas de prueba, que pueden ser en 2 formas:

- Cama de clavos
- Sondos voladoras.

En la tabla 7 se analiza las ventajas entre los dos métodos nombrados anteriormente y en la tabla 8 las desventajas de las mismas.

Tabla 7. Ventajas de los equipos utilizados en el test eléctrico.

Fuente: Autor

Ventajas	
<i>Cama de clavos</i>	<i>Sondas voladoras</i>
Tiempos cortos de prueba	Se puede utilizar en varias tarjetas
Pruebas más completas	Tiempo de desarrollo cortos
Menor costo	Ideal para prototipos o pequeños volúmenes de producción
	Facilidad en el cambio cuando se dan correcciones de diseño

Tabla 8. Desventajas de los equipos utilizados en el test eléctrico.

Fuente: Autor

Desventajas	
<i>Cama de clavos</i>	<i>Sondas voladoras</i>
Se emplea en grandes producciones de diseños definitivos	Sondas más propensas a daño por los movimientos
Solo sirven para un tipo de tarjeta	Menor capacidad de pruebas
Tiempo de desarrollo largos	

Prueba funcional o prueba de periféricos

Esta prueba consiste en ejecutar un programa en la tarjeta que puede actuar de forma manual, semiautomática o automática, el cuál prueba uno a uno los periféricos, o elementos de la tarjeta, como memorias, puertos de comunicación, sensores, entradas, salidas, ciertas pruebas requieren otras tarjetas o elementos externos. Usualmente se emplea un programa de computadora para registrar los resultados obtenidos en estas pruebas.

1.5.2 Estándares aplicados en la industria electrónica.

La principal asociación de la industria electrónica es *Association Connecting Electronics Industries*, mayormente conocida como *IPC* debido a que originalmente fue creada como *Institute of Printed Circuits*, fue fundada en 1957 y posee la mayor cantidad de normas para tarjetas electrónicas en cuanto a confiabilidad, reparaciones, diseño, ensamble, requisitos de aceptabilidad entre las principales. Un resumen de su árbol de estándares se observa en la figura 10.

La *IPC* está acreditada por la *American National Standards Institute (ANSI)*, y sus normas son las más utilizadas a nivel mundial.

Para el caso específico de mantenimiento, las principales normas son:

- *IPC-A-600: Aceptabilidad de tarjetas electrónicas.* Para determinar si puede seguir siendo usada, caso contrario deberá ser dada de baja.
- *IPC-A-610: Aceptabilidad de ensamblajes electrónicos.* Para determinar si el proceso fue realizado cumpliendo las normas de calidad.
- *IPC-A-7711A y IPC-A-7721A: Retrabajo, Modificación y Reparación de Ensamble Electrónicos.* Para realizar el proceso cumpliendo las normas de calidad.

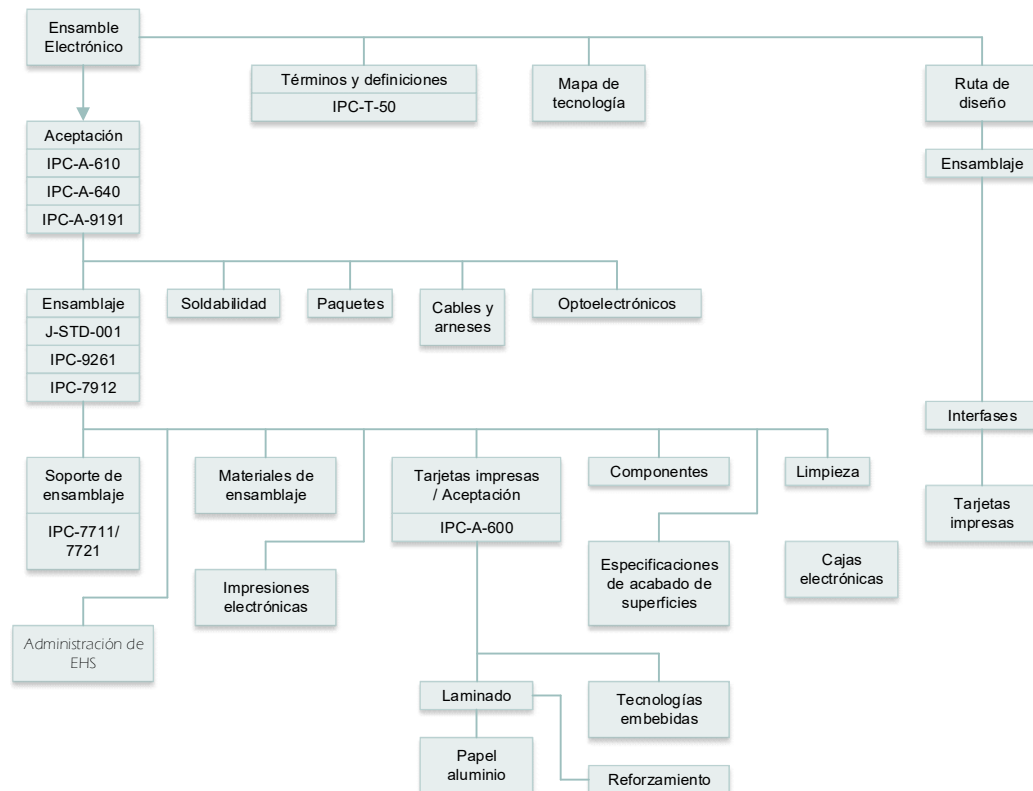


Figura 10. Resumen del árbol de estándares de la IPC.

Fuente: Autor, basado en (IPC, 2018)

1.5.3 Métodos y herramientas para la mejora de procesos.

Para mejorar las actividades en cualquier tipo de proceso y lograr una mejora en la eficiencia de las empresas existen una gran variedad de métodos y herramientas, por lo que se analizarán algunas de estas, como son el SMED, 5's, Poka Yokes y lecciones de un solo punto, las cuales serán aplicadas en este experimento.

SMED (Single Minute Exchange of Die)

Esta técnica consiste en reducir los tiempos de preparación y desperdicios en el cambio de procesos o de herramientas. Como resultado de su implementación el tiempo máximo de cambio de proceso debe ser menor a 10 minutos. Para esta técnica se utilizarán 4 pasos que se describe a continuación:

- Determinar ajustes internos y externos.
- Separar ajustes internos de externos
- Convertir ajustes internos en externos.
- Reducir los tiempos de ajuste.

Ajustes internos son los que se pueden realizar cuando el equipo está detenido, mientras que los externos son los que se realizan cuando el equipo está en operación.

Un claro ejemplo se observa en la figura 11, los pits de la fórmula 1 en donde décimas de segundo pueden definir una pérdida o una victoria.

Para el caso de reparación consideraremos ajustes externos cuando el equipo está siendo reparado, y ajustes internos cuando el equipo está en procesos de detección de errores.



Figura 11. Pits de fórmula 1, un caso real de SMED.

Fuente: [Fotografía de Mark Sutton]. (Baku, Azerbaijan. 2018). Sutton Images.

5's

Es una técnica de gestión derivada de términos en japonés que empiezan con la letra s, que utiliza cinco conceptos:

- *Clasificación; Seiri*: Separar necesarios e innecesarios.
- *Orden; Seiton*: Organizar de manera eficaz.
- *Limpieza; Seiso*: Mantener limpio el espacio de trabajo.
- *Estandarización; Seiketsu*: Crear normas, seguirlas y mejorarlas.
- *Disciplina; Shitsuke*: Seguir mejorando.

Un ejemplo de las 5's se observa en la figura 12, donde tenemos el antes y el después al aplicar algunos de los conceptos de las 5's.



Figura 12. Ejemplo de aplicación de las 5's. Fuente: (Creative Safety Supply, 2014)

Actualmente se habla de una sexta S, la cual se refiere a la seguridad, mediante el posicionamiento de maquinaria y equipos de manera que garanticen la seguridad de los trabajadores reduciendo la probabilidad de accidentes laborales.

Poka yokes

Es una técnica para eliminar los errores humanos”, su traducción literal del japonés es “a prueba de errores”. También conocido comúnmente como “a prueba de tontos.

Existen 2 tipos de funciones en esta metodología:

- De control: Impiden que el error ocurra.
- De aviso: Generan una advertencia al producirse el error.

Los tipos más utilizados son:

- Diseños que no permiten conectar las partes de manera incorrecta.
- Utilización de un código de colores.

- Flechas o etiquetas de ubicaciones u orientaciones.

Existe una gran variedad de conectores de equipos electrónicos con estas cualidades para evitar conexiones incorrectas, estos se pueden enlazar en una sola posición. En otros casos vienen claramente etiquetado por colores, estos dos casos se observan en la figura 13.



Figura 13. Conectores a pruebas de errores. Fuente: (Vecteezy, s.f.)

Lecciones de un punto

Es una herramienta de comunicación utilizada dentro del mejoramiento continuo para facilitar la transmisión y aprendizaje conocimientos relativos a la organización. Estas lecciones comprenden una única enseñanza, la cual debe estar contenida en una sola hoja, su aprendizaje no debe tomar más de un minuto. Se recomienda usar gráficos lo suficientemente ilustrativos y textos cortos.

En la figura 14 se observa el contenido de una lección de un solo punto con el procedimiento de preparación de una tarjeta para un determinado funcionamiento.


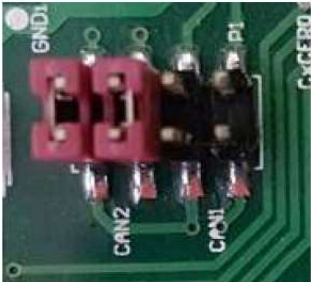
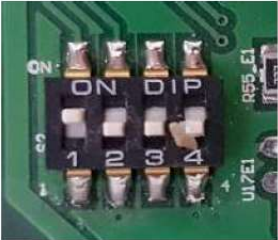


	<h3>Lección de un punto</h3>	CÓDIGO: RPE-28 VERSIÓN: 01 FECHA: 2018-02-04
Estación: <u>Ensamblaje</u> Realizado por: <u>Daniel Ortega</u>		Producto: <u>PR-4010</u> Descripción: <u>Preparación para modo tráfico</u>
<p>1</p> 	<p>2</p> 	
<p>Colocar los jumpers en la posición CAN 2</p>	<p>Poner el dipswitch 1 en ON y los demás en OFF</p>	
<p>3</p> 	<p>4</p> 	
<p>Poner el ID de acuerdo a su posición y configuración</p>	<p>Cargar el último FW de tráfico: PR4010_v1.1.1_160516</p>	

Figura 14. Contenido de una lección de un punto. Fuente: (Procelec Cía. Ltda., 2018)

CAPÍTULO 2: PROCEDIMIENTO

2.1 Establecimiento del proceso.

Para el establecer el proceso se tomarán en cuentas las técnicas nombradas en el capítulo 1, así como conocimientos y experiencias brindadas por el personal de planta, considerando los equipos disponibles en la planta, junto con los que se podrían construir o adquirir.

Cabe recalcar que los productos de la empresa Procelec Cía. Ltda. son sistemas autónomos destinados a funcionar ininterrumpidamente, las reparaciones de las tarjetas siempre se realizan de manera correctiva, cuando el sistema ha dejado de funcionar parcial o totalmente, en los casos de sistemas modulares se pueden reemplazar las tarjetas para retornar el sistema a su funcionalidad de manera inmediata.

El proceso se aplicará para todas las tarjetas de la empresa sin excepción, para el presente documento se analizará la serie de equipos PR-4000.

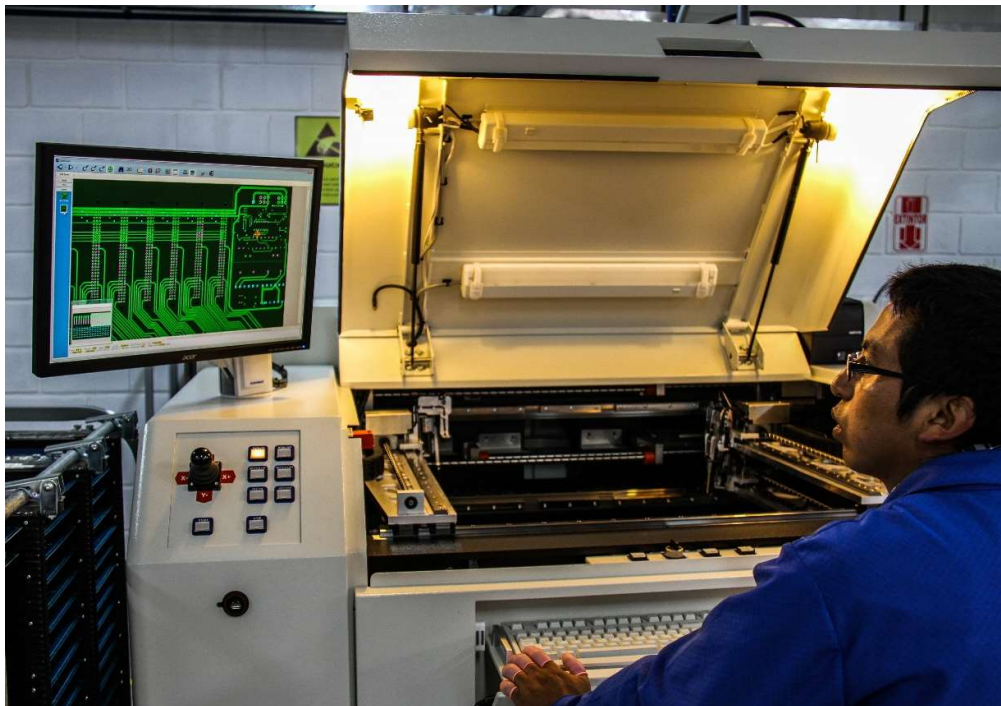


Figura 15. Máquina Pilot para realizar el test eléctrico. Fuente: (Procelec Cía. Ltda., 2014)

Para la mejora se ha determinado las siguientes tareas y procedimientos en base a la experiencia e investigación realizada.

- Las tarjetas a ser reparadas deben ser enviadas con un diagnóstico previo, para facilitar la detección de fallas en componentes dañados.
- En el procedimiento se deberá incorporar el test eléctrico, en este caso se empleará la máquina Pilot (figura 15) en las tarjetas compatibles con dicha máquina, en el resto de tarjetas se deberá usar herramientas como multímetro y osciloscopio. Con el fin

de verificar la integridad de los componentes electrónicos. El test de con la máquina Pilot se realizaba únicamente en el proceso de ensamble electrónico.

La prueba funcional deberá ser automatizada en lo máximo posible, incluyendo los reportes de funcionamiento serán generados automáticamente por el software de pruebas.

- Se utilizarán las metodologías y herramientas para la mejora de procesos nombradas en el capítulo anterior.
- Se crearán manuales de pruebas y uso del software.
- Se realizarán planos para los circuitos de prueba.
- Se realizarán hojas de un solo punto para facilitar la detección de fallas simples y complejas.
- Se capacitará a los técnicos de reparación en el uso de la herramienta de depuración para determinar ciertas fallas sin necesidad de instrumentos de medición.
- Se darán capacitaciones a los técnicos de reparación en base a las normas IPC-A-600, IPC-A-610, IPC-A-7711A e IPC-A-7721A.
- Se utilizarán plantillas para los reportes de componentes reemplazados, para estadísticas y cálculo de stock de repuestos.

El nuevo procedimiento se muestra en la figura 16 el cual no presenta un cambio muy drástico con respecto al proceso original, las mejoras se notarán en los cambios que se realizarán a las tareas de cada proceso.

El informe técnico a pesar de que en el diagrama de flujo se lo encuentra únicamente en el proceso final contiene datos de casi todos los procesos anteriores, estos datos son variables de acuerdo a la causa de la falla.

Los detalles de estas mejoras se analizarán de manera más profunda en este capítulo.

En el reproceso y sustitución de componentes, los encargados del proceso de soldadura deberán comprobar la calidad de las reparaciones ejecutadas, cumpliendo las normas IPC que serán implementadas en la empresa, la cual debe ser auditada por el jefe de planta.

En la tabla 9 se observa el detalle del nuevo procedimiento, indicadores y registros.

Reparación de una tarjeta electrónica

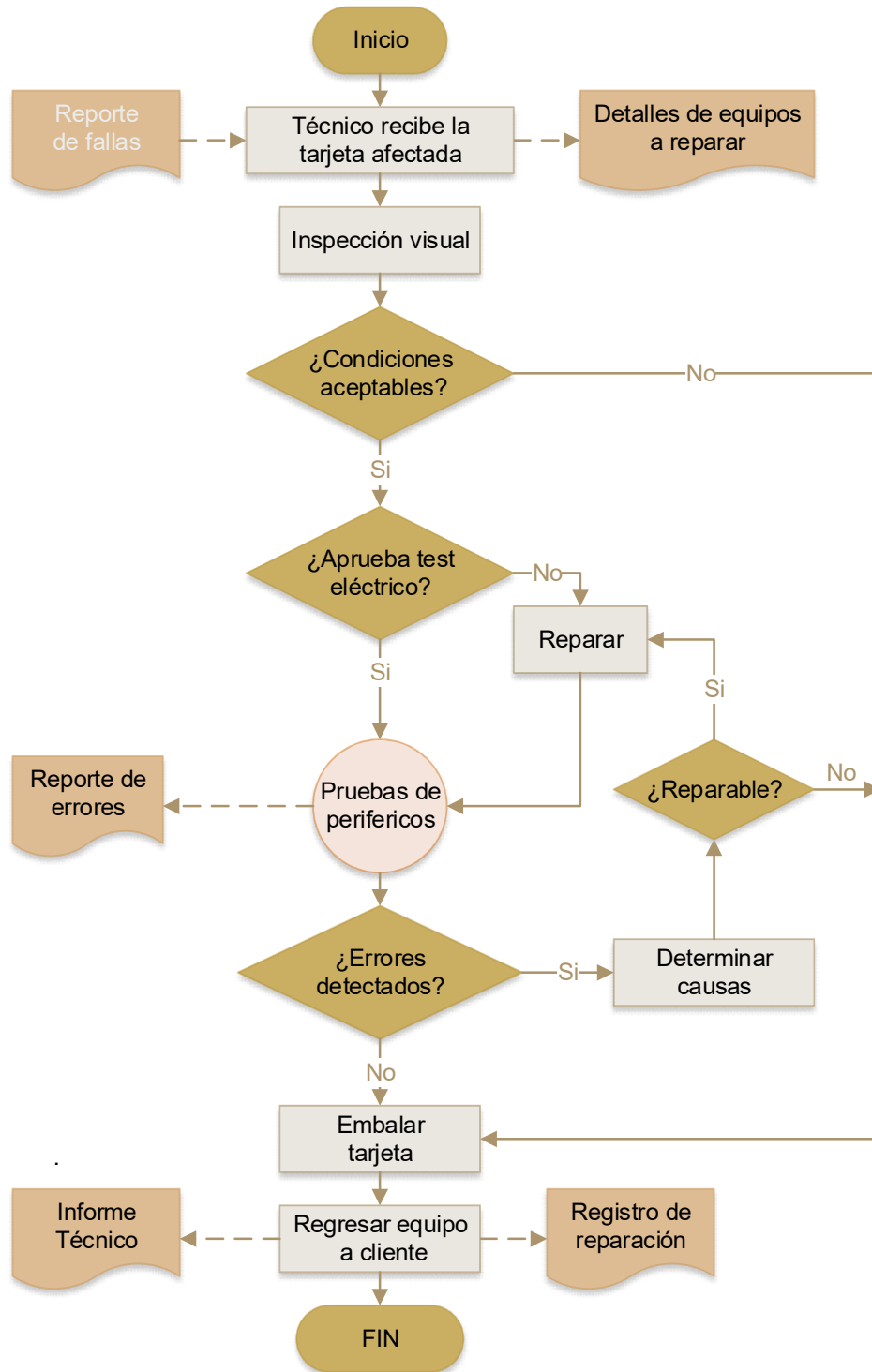


Figura 16. Mapa de Procesos. Fuente: Autor.

Tabla 9. Procedimiento actualizado para la reparación de tarjetas electrónicas.
Fuente: Autor, Basado en (Coronel, 2016).

<p style="text-align: center;">MANTENIMIENTO PROCEDIMIENTO PARA LA REPARACIÓN DE TARJETAS ELECTRÓNICAS</p>						Procelec Procedimientos para reparación Código: PPE-01 Versión: 2 Fecha: 05/03/2018
Ejecutor	Especificación	Código	Descripción de la actividad	Registro	Código	Indicador: meta
Técnico	- Reporte de fallas	RPE-35	Recepción de la tarjeta afectada.	Detalle de equipos a reparar	RPE-32	- Tiempo de recepción < 20 segundos por tarjeta
Técnico	- Aceptabilidad de tarjetas electrónicas	IPC-A-600	Inspección visual.			- Tiempo de inspección < 3 minutos por tarjeta (varía según complejidad)
Técnico		IPE-07	Test eléctrico	Detalle		- Tiempo de ejecución 12 segundos (para las tarjetas de la serie PR-4000)
Técnico	Guía de pruebas	IPE-12	Pruebas de periféricos	Reporte de errores	RPE-27	- Cumplir al 100% la guía de pruebas - Cumplimiento del tiempo establecido por la guía (hasta 12 minutos según tarjeta)
Técnico	- Esquemas electrónicos	RIE-01	Determinar causas			- Encontrar el 100% de las causas de fallas - Tiempo de detección y determinación si es reparable < 8 minutos (según componente)
Técnico	- Aceptabilidad, retrabajo, reparación de ensamblajes electrónicos - Esquemas electrónicos	IPC-A-610 IPC-A-7711A IPC-A-7721A RIE-01	Reparar			- Tiempo de reparación < 10 minutos (según componente) - Cumplimiento del 100 % de la norma
Técnico	- Guía de embalaje	RPE-34	Embalaje la tarjeta			- Cumplir al 100% la guía de embalaje
Técnico			Regresar el equipo al cliente	-Informe técnico - Registro de reparación	RPE-28 RPE-31	- Porcentaje de funcionalidad del equipo 100% en casos de tarjetas reparables.
ELABORADO: Daniel Ortega			REVISADO: Paúl Trelles		APROBADO: Paúl Trelles	

2.2 Determinación del SMED.

Se determinó el uso del SMED para mejorar los tiempos de preparación de las pruebas, como se analizó en el capítulo anterior, para la implementación de esta herramienta se tienen cuatro fases, donde la primera es analizar los todos los ajustes, y la segunda es separar los internos de los y externos.

En el caso de reparación, los ajustes internos son:

- Preparación la tarjeta en caso de que necesite ajustes mecánicos.
- Carga del firmware de pruebas.
- Pruebas de periféricos.
- Detección de errores.
- Generación de reportes, informes y detalles de reparación.
- Embalaje de la tarjeta.

A continuación, nombramos los ajustes externos:

- Reproceso de componentes.
- Cambio de componentes.

Como tercera fase se tiene convertir ajustes internos en externos, en el caso de las reparaciones, mientras se ejecutan los ajustes externos no se tiene la posibilidad de ejecutar los ajustes internos nombrados en las dos primeras fases. Por esto nos concentraremos en la cuarta fase que consiste en la reducción de tiempos de ajuste.

A continuación, tenemos las mejoras a implementar para reducir los tiempos de ajuste:

- Aplicación de la técnica 5's.
- Uso del sistema poka yokes.
- Estandarización de las pruebas (software y firmware).
- Automatización de las pruebas.
- Elaboración de manuales de pruebas.
- Elaboración de hojas de un solo punto para detección de errores.
- Capacitación continua del personal de la planta electrónica.

2.3 Implementación el SMED.

Implementación de las 5's

Como primer punto de la implementación del SMED se realizó las capacitaciones, primero a todo el personal con el uso de las 5's, para proceder a su implementación. También se realizaron capacitaciones al personal de planta y del área de diseño con normas IPC, al

personal de planta específicamente en temas relativos a la aceptabilidad con las normas IPC-A-600, IPC-A-610, IPC-A-7711A y IPC-A-7711A, las cuales fueron nombradas en el capítulo anterior.

Como resultado de la implementación de las 5's, se reorganizó el área de pruebas, reduciendo el número de elementos físicos, de 9 chasises a 2 únicamente.

En la figura 17 se observa la distribución original de los elementos, mientras que en la figura 18 se muestra el nuevo posicionamiento de los elementos necesarios para pruebas.



Figura 17. Organización original de los elementos usados para pruebas funcionales.

Fuente: Autor



Figura 18. Nueva organización de los elementos usados para pruebas funcionales.

Fuente: Autor

Como se observa en la nueva distribución de los equipos de prueba, además de ocupar un menor espacio, se redujo el uso de los mismos. Al estar todos los equipos cerca del técnico se reducen movimientos innecesarios hacia equipos más alejados, también permite tener un espacio mejor organizado, facilitando mantener el orden y la limpieza.

Estandarización de las pruebas

La estandarización de las pruebas se inició con el software de gestión, para esto se desarrolló un único software de pruebas (Test-PRxx), el cual permite probar todas las tarjetas de la serie PR4000, en el proceso original no todas las tarjetas tenían un software de pruebas y las que tenían uno no permitían la prueba de otras tarjetas. En el anexo 1 se puede apreciar los resultados de pruebas realizadas con este software, en las figuras 25 y 26.

El nuevo software permite la selección y prueba de cualquier tipo de tarjeta, haciéndolo genérico, con un diseño intuitivo facilitando al operario, usando colores para advertir pruebas correctas e incorrectas, además genera reportes de manera automática en algunos casos, y en otros solo es necesario dar clic en *Guardar* cuando se tienen pruebas que requieren ser realizadas por una persona, como se puede observar en la figura 19.

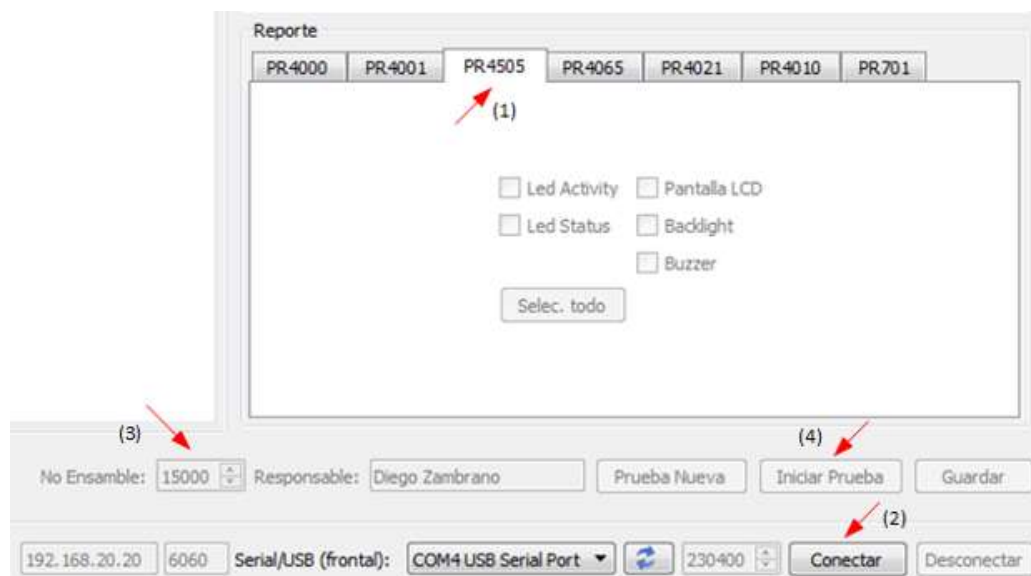


Figura 19. Software de pruebas Test-PRxx Fuente: Autor

Para todas las tarjetas la secuencia a realizar en el software es:

- (1) Seleccionar el tipo de tarjeta.
- (2) Dar clic a "Conectar".
- (3) Ingresar el número de ensamble de tarjeta
- (4) Dar clic a "Iniciar Prueba"
- (5) La prueba automática se ejecuta.

Luego de esto en la pantalla de salida se puede apreciar los resultados de la prueba, estos se muestran en verde para las secciones funcionales, y en rojo para las secciones defectuosas, en el Anexo 1 se presentan en las figuras 25 y 26 capturas de pantalla de las pruebas terminadas. En el caso de que requiera pruebas no automatizadas se las debe

realizar dependiendo del tipo de tarjeta, siguiendo las instrucciones en pantalla y también es necesario guardar los resultados manualmente.

En el anexo 1.B se observa el reporte generado por el software para una tarjeta PR-4021, para todas las tarjetas el reporte mantiene el mismo formato.

Además, continuando con la estandarización, lo mismo se realizó con el firmware de las tarjetas, cada tarjeta tiene un programa, el cual permite probar otras tarjetas como probarse a sí misma, además se utilizaron las mismas librerías en código de programación en las diferentes tarjetas para la facilidad del técnico en caso de requerir hacer depuración en las tarjetas, cuando se presentan fallas que pueden ser detectadas por código sin la necesidad de equipos de medición.

Elaboración de manuales

En cuanto a lo que se refiere al hardware se realizaron manuales de preparación de cada tarjeta, lista de materiales y herramientas necesarios, planos de conexión, así como se etiquetaron los conectores de los equipos y sus posiciones para reducir la probabilidad de errores humanos y pérdidas de tiempo.

Se elaboraron varias lecciones de un punto con los casos más comunes de fallas, detección de fallas, métodos de detección con herramientas o por medio del uso de la herramienta de depuración.

En el anexo 1 se observan algunos de los planos, manuales de pruebas, lecciones de un punto realizadas en esta implementación.

Automatización de las pruebas

Las pruebas se sometieron a modificaciones siendo el cambio más importante la automatización del proceso, anteriormente las pruebas de entradas se realizaban manualmente mediante pulsantes u otras tarjetas, pero de manera manual o semiautomática, igualmente las salidas se comprobaban de manera visual mediante el encendido de leds externos. Ahora todas las pruebas de componentes se realizan de manera automática, con respecto a memorias, entradas, salidas, puertos de comunicación, reloj, sensores, mientras que elementos internos como buzzers, leds, pulsantes, selectores requieren de una prueba manual, visual o auditiva por parte del técnico encargado.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS

3.1. Análisis de resultados, estandarización.

Para el análisis de datos en primer lugar se analizarán las muestras de 3 tipos de tarjetas, una sencilla, una de nivel medio, y una compleja. Las tarjetas elegidas son:

- *PR-701*: La tarjeta PR701 se utiliza como amplificador de señales, para retransmitir en grandes distancias la detección de los ejes del tren (probado hasta en un 1km), posee una fuente común de alimentación y tres circuitos idénticos de amplificación, en campo en la mayoría de casos se utilizan únicamente dos de los tres circuitos, teniendo el tercero como respaldo en caso de que ocurra un daño en una de las salidas.
- *PR-4021*: Es una tarjeta para uso genérico, cuenta con 15 entradas digitales y 4 salidas digitales. Los 15 circuitos de entrada son iguales entre sí, con excepción del color del led indicador (se usan 3 colores: rojo, ámbar y verde). Los 4 circuitos de salida son idénticos. Entre sus aplicaciones tenemos el control de barreras, interfaz de tráfico, detección de ejes y conteo de vehículos. En las aplicaciones de control de barreras e interfaz de tráfico se utilizan tanto sus salidas como sus entradas, mientras que en las aplicaciones de detección de ejes y conteo de vehículos solo se utilizan las entradas. El número de entradas y salidas utilizadas en campo depende de la aplicación utilizada y del número de periféricos.
- *PR-4010*: Esta tarjeta permite el control de periféricos de corriente alterna, se utiliza normalmente para manejar semáforos de todo tipo, cuenta con 12 salidas, todas incluyen un sistema de medición para la generación de alarmas, cuenta con 4 entradas digitales. Los circuitos de salidas son iguales con la diferencia del led indicador que puede ser rojo, ámbar o verde, las entradas son idénticas entre sí. El número de salidas empleadas depende de la aplicación, en algunos casos controla periféricos a 12VCA, sin embargo, en la mayoría de aplicaciones se controla periféricos a 127VAC. Las entradas de esta tarjeta son utilizadas en muy pocos casos (<1% de tarjetas existentes).

Para el análisis de las reparaciones utilizaremos tablas organizadas de la siguiente manera: la primera columna nos indica la orden de reparación, que puede ser generada de manera interna como externa, en la segunda columna tenemos los números de serie de las tarjetas reparadas, en la tercera columna las fallas que presenta el equipo, y a partir de la cuarta columna las cantidades de elementos reemplazados por cada componente, organizados por el número de inventario de cada componente. Estas tablas se encuentran en el anexo 2.

Para el análisis realizó un censo de tarjetas, se consideraron todas las tarjetas que presentaron fallas de funcionalidad o daños físicos durante el desarrollo del proceso investigativo y práctico.

3.1.1 PR-701.

A continuación, revisamos los datos obtenidos de la tarjeta PR-701, como se observa en las tablas del anexo 2 las reparaciones de esta tarjeta no presentan mayor dificultad y no hay muchas variantes de reparación. Dentro del anexo 2 en la tabla 43 tenemos datos de las reparaciones con el proceso original, mientras que en la tabla 46 se encuentran las pruebas realizadas con el nuevo proceso, en ambas tablas para las tarjetas PR-701 únicamente.

En el primer censo se tuvo 88 tarjetas PR-701 utilizando el procedimiento original. 7 de ellas fueron dadas de baja por no tener un estado aceptable. En la figura 20 se observa una tarjeta que no presenta condiciones adecuadas, uno de los defectos que se puede observar a simple vista es que falta una de sus pistas.

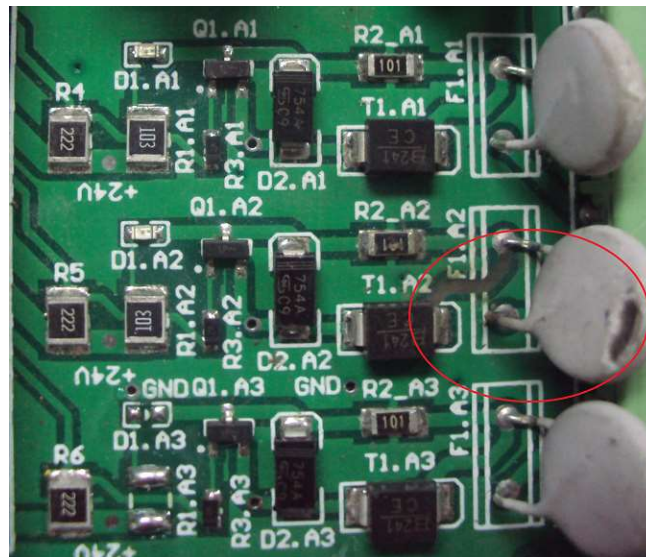


Figura 20. Tarjeta PR-701 defectuosa. Fuente Procelec Cía. Ltda.

Se realizaron sustituciones en 8 tipos de componentes en las 81 tarjetas que tuvieron reemplazos, de esto se extraen los datos que se observan en la tabla 10.

Tabla 10. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-701.
Fuente: Autor

Número de inventario	Componentes reemplazados							
	00219	01308	00404	01003	01005	01007	00060	01046
Cantidad de reemplazos por componente	97	10	4	3	1	1	5	1
Cantidad de tarjetas donde se reemplazó el componente	74	10	3	1	1	1	3	1

Además, se tuvieron 4 tipos de procesos en al menos 3 ocasiones cada uno:

- En 66 tarjetas se reemplazaron únicamente componentes 00219.

- 7 tarjetas se dieron de baja.
- En 4 tarjetas se reemplazaron componentes 00219 y 01038.
- En 3 tarjetas se reemplazaron únicamente componentes 00060.

Para todos los casos de reparación de este tipo de tarjeta se realizó el procedimiento como se observa en la figura 21, siguiendo las líneas verdes, circulando una sola vez por el camino de reparación que es cuando se han detectado errores. En la misma figura en rojo tenemos el camino que siguieron las tarjetas que fueron dadas de baja, al no aprobar la inspección visual ya no es necesario ejecutar tareas de reparación.

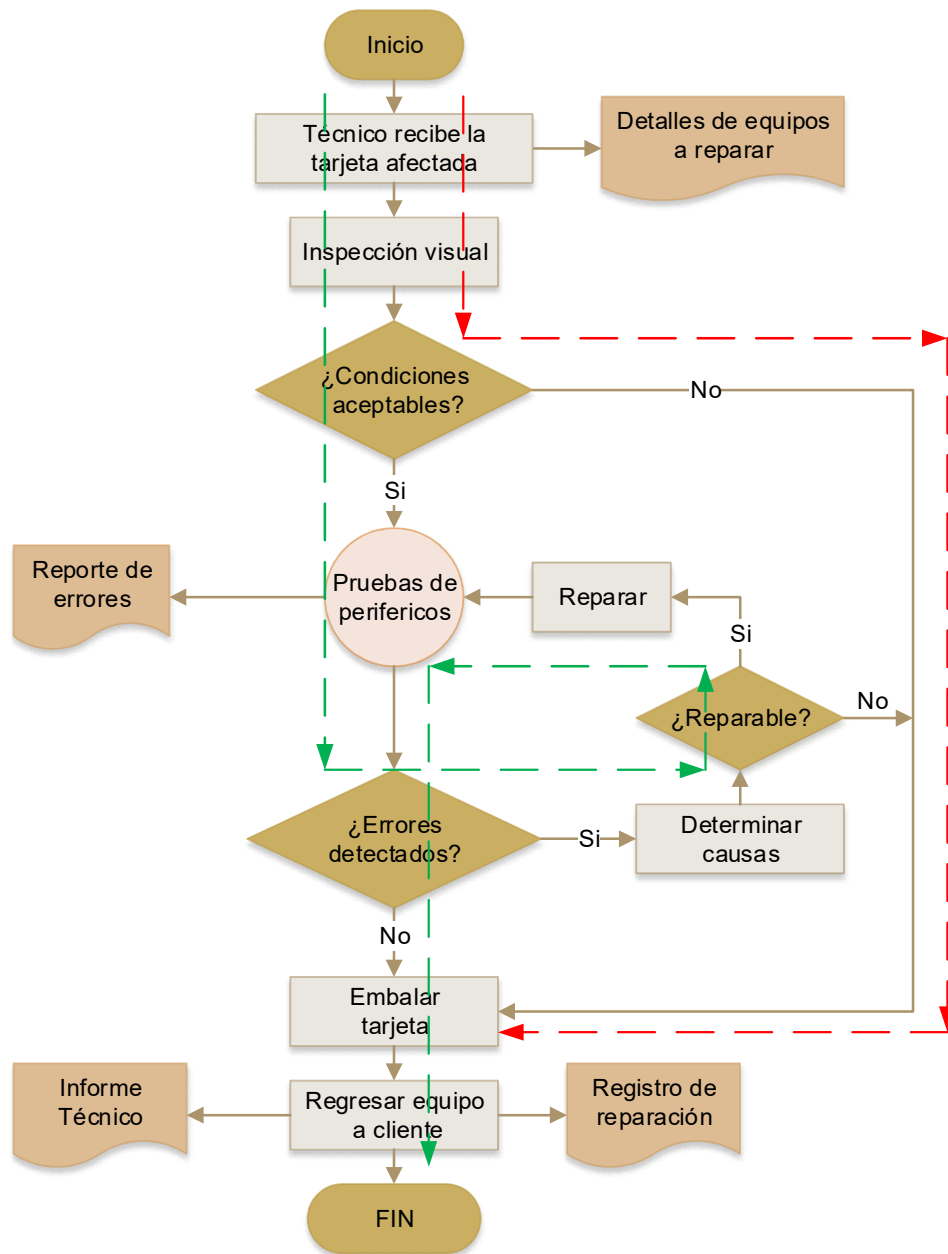


Figura 21. Procedimiento realizado en las tarjetas PR-701. Fuente: Autor.

Los daños más comunes que se dieron en estas tarjetas son:

- En 55 tarjetas falla 1 entrada.
- En 16 tarjetas fallan 2 entradas.
- En 3 tarjetas fallan 3 entradas.

En el segundo censo se tuvo 14 tarjetas PR-701 utilizando el nuevo procedimiento. 1 de ellas fue dada de baja por no presentar un estado aceptable.

Se realizaron cambios a 3 tipos de componentes en las 13 tarjetas que tuvieron reemplazos, de esto se extraen los datos que se observan en la tabla 11, al igual que la primera muestra tenemos marcada la tendencia de sustituciones del elemento 00219. El componente 00219 es un transistor que soporta 0.6A, debido a las constantes fallas del mismo se lo reemplaza con el elemento 01226 que soporta 2A, reduciendo las fallas de este equipo, este nuevo reemplazo presenta similares características con la diferencia que soporta corrientes más elevadas.

*Tabla 11. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-701.
Fuente: Autor*

Componentes reemplazados			
Número de inventario	00219	01002	01068
Cantidad de reemplazos por componente	14	3	3
Cantidad de tarjetas donde se reemplazó el componente	10	3	2

Además, el principal tipo de proceso que se registró fue:

- En 9 tarjetas se reemplazaron únicamente componentes 00219.

Los daños más comunes son:

- En 6 tarjetas falla 1 entrada.
- En 4 tarjetas fallan 2 entradas.

De manera similar a la observada en la figura 21, en la figura en líneas verdes tenemos el procedimiento realizado para los casos de reparación, igualmente circulando una sola vez por el camino de reparación que es cuando se han detectado errores.

Continuando con la figura 22 en líneas rojas tenemos el camino que siguió la tarjeta que fue dada de baja, al no aprobar la inspección visual ya no es necesario ejecutar tareas de reparación.

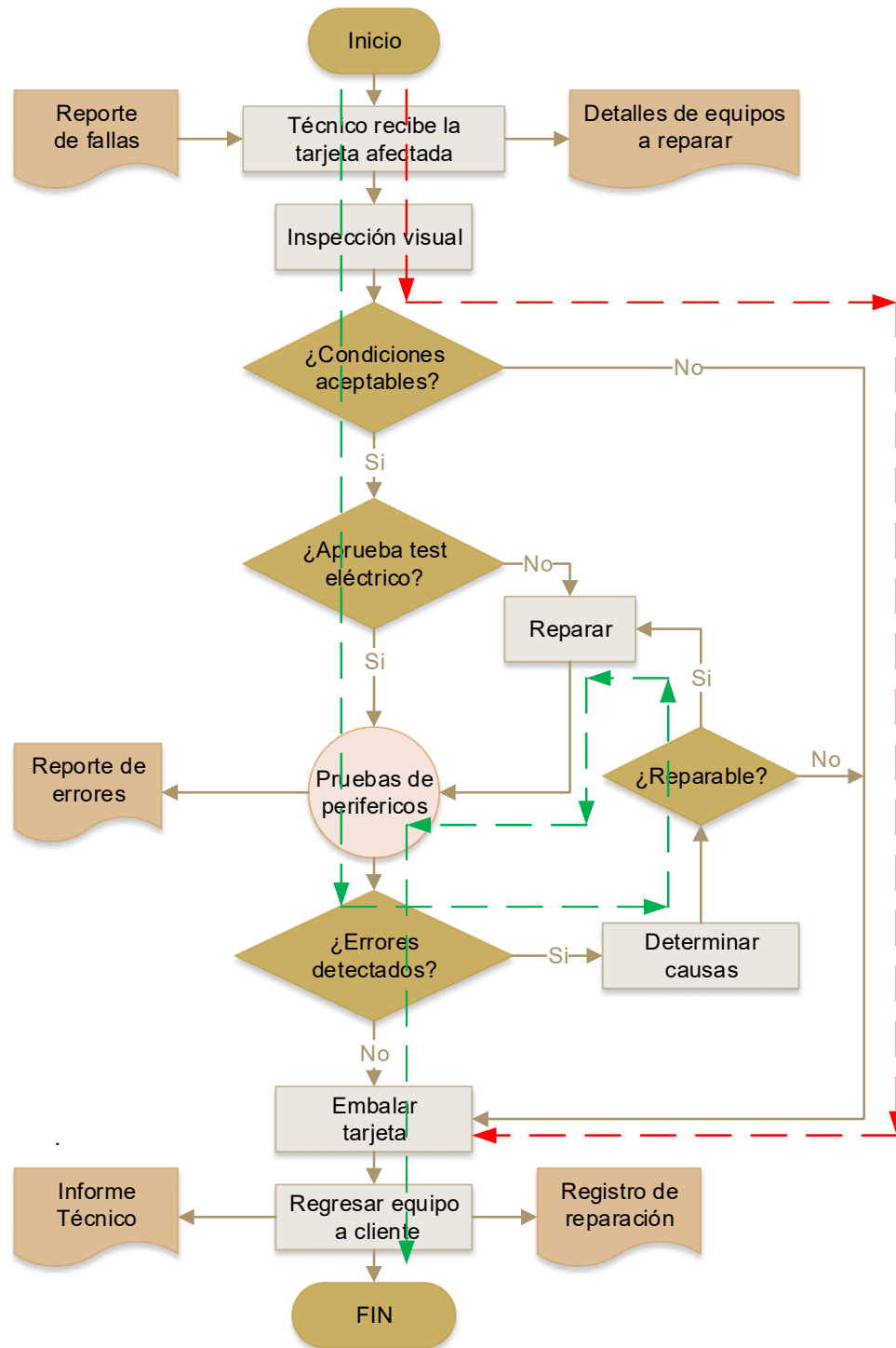


Figura 22. Procedimiento realizado en las tarjetas PR-701. Fuente: Autor.

A continuación, en la tabla 12 analizaremos los resultados obtenidos al emplear el procedimiento original comparados con los resultados al aplicar el nuevo procedimiento. Los tiempos de actividades que se realizan en los procedimientos son prácticamente constantes, por lo que se utilizará el tiempo promedio empleado en la actividad. Este análisis se realiza

con respecto al caso más común que es cuando falla 1 entrada y se reemplaza únicamente el componente 00219.

Tabla 12. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-701.

Fuente: Autor

Actividad	Proceso original	Nuevo proceso	Cambio generado
Técnico recibe la tarjeta afectada	30s por tarjeta	20s por tarjeta	Mejora 10s por tarjeta
Inspección visual	37s.	43s.	Aumenta 6s, mejora la calidad al incrementar la detección de errores.
Test eléctrico	N/A	12s.	Aumenta 12s, ayuda con la preservación de equipos de prueba.
Prueba de periféricos	1 min 36s.	10s.	Reducción de 86s (1min 26s), el reporte se genera automáticamente, y las pruebas ya no se realizan de forma manual eliminando la probabilidad de errores humanos.
Determinar causas.	1 min.	30s.	Reduce 30 s, detección de daño en el componente 00219 (el tiempo de detección depende del componente).
Reparar (sustituir)	2 min.	2 min.	No presenta cambios, sustitución del componente 00219 (el tiempo de sustitución depende del componente). Mejora calidad al cumplir con la norma.
Embalar tarjeta	1 min 30s	1 min	Mejora de 30 s al tener guías de embalaje.
Regresar el equipo al cliente	3 min 40s. por tarjeta	2 min 18s. por tarjeta	Mejora 138s (1min 22s) por tarjeta, la generación de informes alarga el proceso.

En la tabla 13 se realiza el análisis valor agregado en el proceso original, donde

- VA: es valor agregado
- VAC: valor agregado cliente
- VAO: valor agregado operativo
- NVA: no genera valor agregado
- PIEMA: planificación, inspección, espera, movimiento, almacenamiento.

En la tabla 14 se realiza el análisis de valor agregado en el nuevo proceso.

Tabla 13. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-701.
Fuente: Autor, basado en (López, 2007).

PROCELEC Cía. Ltda.												
Procedimiento para la reparación de tarjetas electrónicas												
ANÁLISIS DEL VALOR AGREGADO												
SITUACIÓN ACTUAL		VA		NVA					Tiempo	Tiempo		
No	Actividad	VAC	VAO	P	I	E	M	A	(segundos)	(minutos)		
1	Recepción de tarjeta defectuosa.		2	5		10	10	3	30	00:30		
2	Inspección visual.	16		3	18				37	00:37		
3	Pruebas de periféricos	3		10	10	10	3	60	96	01:36		
4	Determinar causas	10	10		30		10		60	01:00		
5	Reparar	90	10			10	10		120	02:00		
6	Embalar la tarjeta	20	40	6		6	10	8	90	01:30		
7	Regresar el equipo al cliente	10	10	10		20	10	160	220	03:40		
Total Actividades de VA		149	72									
Total Actividades de NVA				34	58	56	53	231				
Tiempo de ciclo del proceso TCP									653	10:53		
Tiempo de valor agregado TVA									221	03:41		
Tiempo de no valor agregado TNVA									432	07:12		
Eficiencia de valor agregado TVA/TNVA									0,512			
Eficiencia total del ciclo de proceso TVA/TCP									33,844%			
Eficiencia real del ciclo de proceso TVAC/TCP									22,818%			

Tabla 14. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-701.
Fuente: Autor, basado en (López, 2007).

PROCELEC Cía. Ltda.												
Procedimiento para la reparación de tarjetas electrónicas												
ANÁLISIS DEL VALOR AGREGADO												
SITUACIÓN ACTUAL		VA		NVA					Tiempo	Tiempo		
No	Actividad	VAC	VAO	P	I	E	M	A	(segundos)	(minutos)		
1	Recepción de tarjeta defectuosa.		2	4		6	6	2	20	00:20		
2	Inspección visual.	18		3	22				43	00:43		
4	Test eléctrico	4	3		5				12	00:12		
5	Pruebas de periféricos	3			7				10	00:10		
6	Determinar causas	5	5		15		5		30	00:30		
7	Reparar	90	10			10	10		120	02:00		
8	Embalar la tarjeta	15	15	6		6	10	8	60	01:00		
9	Regresar el equipo al cliente	8	8	7		15	10	90	138	02:18		
Total Actividades de VA		143	43									
Total Actividades de NVA				20	49	37	41	100				
Tiempo de ciclo del proceso TCP									433	07:13		
Tiempo de valor agregado TVA									186	03:06		
Tiempo de no valor agregado TNVA									247	04:07		
Eficiencia de valor agregado TVA/TNVA									0,753			
Eficiencia total del ciclo de proceso TVA/TCP									42,956%			
Eficiencia real del ciclo de proceso TVAC/TCP									33,025%			

Como se puede observar el tiempo del ciclo de proceso tiene una reducción de 653s (10 min 53s) a 433s (7 min 13s), lo cual significa una mejora de 220s (3min 40s) utilizando el nuevo proceso, esto también genera el incremento de la eficiencia real del proceso de 22.818% a 33.025%. A pesar de la considerable mejora del tiempo total de proceso, la eficiencia del mismo se incrementa únicamente en 10.208% debido a que todas de actividades generan tiempos valor no agregado para el cliente, exceptuando la actividad de reparación que tiene un alto valor agregado.

3.1.2 PR-4021

Continuando con el análisis de resultados procedemos a revisar los datos obtenidos de la tarjeta PR-4021, como se observa en las tablas del anexo 2 las reparaciones de esta tarjeta presentan una mediana dificultad y presenta algunas variantes de reparación.

Dentro del anexo 2 en la tabla 44 tenemos datos de las reparaciones con el proceso original, mientras que en la tabla 47 se encuentran las pruebas realizadas con el nuevo proceso, en ambas tablas para las tarjetas PR-4021 únicamente.

En la primera muestra se tuvo 78 tarjetas PR-4021 utilizando el procedimiento original. 11 de ellas fueron dadas de baja por no tener un estado aceptable.

Se realizaron sustituciones en 16 tipos de componentes, a continuación, en la tabla 12 se muestran los datos de los más frecuentes, con al menos 4 ocurrencias.

Tabla 15. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-4021.

Fuente: Autor

Número de inventario	Componentes reemplazados						
	00195	00548	00989	00660	00603	00836	00994
Cantidad de reemplazos por componente	95	31	20	8	8	6	5
Cantidad de tarjetas donde se reemplazó el componente	52	25	12	8	8	6	4

Además, se tuvieron 5 tipos de procesos en al menos 3 ocasiones cada uno:

- En 20 tarjetas se reemplazaron únicamente componentes 00195.
- 11 tarjetas se dieron de baja.
- En 11 tarjetas se reemplazaron componentes 00195 y 00548.
- En 5 tarjetas se reemplazaron únicamente componentes 00548.
- En 4 tarjetas se reemplazaron componentes 00195 y 00989.

Para todos los casos de reparación de este tipo de tarjeta se realizó el procedimiento al igual que para la tarjeta PR-701 como se observó en la figura 22 siguiendo las líneas verdes, con

la diferencia que algunos casos se repitió la ejecución por el camino de reparación como se detalla en la tabla 16, en rojo tenemos el camino para las que se dieron de baja.

Los daños más comunes que se dieron en estas tarjetas son:

- En 31 tarjetas no se activa 1 entrada.
- En 8 tarjetas no se activan 2 entradas.
- En 8 tarjetas se da cortocircuito en 3.3V
- En 6 tarjetas no se activan 3 entradas.
- En 4 tarjetas no se activa 1 salida
- En 3 tarjetas se tiene error del puerto CAN.
- En 3 tarjetas no se activan 4 entradas.

Tabla 16. Variaciones en el proceso de reparación de la tarjeta PR-4021.

Fuente: Autor

Tipo	Ocurrencias
1 reintento	55
2 reintentos	5
3 reintentos	4
4 reintentos	3

En el segundo censo se tuvo 52 tarjetas PR-4021 utilizando el nuevo procedimiento. 7 de ellas fueron dadas de baja por no presentar un estado aceptable.

Se realizaron cambios a 10 tipos de componentes en las 45 tarjetas que tuvieron reemplazos, de esto se extraen los datos que se observan en la tabla 17, al igual que la primera muestra tenemos marcada la tendencia de sustituciones del elemento 00195. El componente 00195 es un optoacoplador con aislamiento de hasta 5000V para protección de las entradas del microcontrolador.

Tabla 17. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-4021.

Fuente: Autor

Número de inventario	Componentes reemplazados				
	00195	00548	00636	00116	00549
Cantidad de reemplazos por componente	74	28	2	2	2
Cantidad de tarjetas donde se reemplazó el componente	39	21	1	1	2

Además, se tuvieron 4 tipos importantes de procesos que se dieron en al menos 4 ocasiones cada uno:

- En 19 tarjetas se reemplazaron únicamente componentes 00195
- En 16 tarjetas se reemplazaron componentes 00195, 00548.
- 7 tarjetas fueron dadas de baja.
- En 4 tarjetas se reemplazaron únicamente componentes 00548.

Los daños más comunes son:

- En 22 tarjetas falla 1 entrada.
- En 11 tarjetas fallan 2 entradas.
- En 10 tarjetas no se activa una salida.
- En 4 tarjetas fallan 3 entradas.

El procedimiento efectuado fue igual al ejecutado en la tarjeta PR-701 que se observó en la figura 23, en líneas verdes tenemos el procedimiento realizado para los casos de reparación, con la diferencia que algunos casos se repitió la ejecución por el camino de reparación como se detalla en la tabla 18, en rojo tenemos el camino para las que se dieron de baja.

*Tabla 18. Variaciones en el proceso de reparación de la tarjeta PR-4021.
Fuente: Autor*

Tipo	Ocurrencias
1 reintento	43
2 reintentos	2

A continuación, en la tabla 19 analizaremos los resultados obtenidos al emplear el procedimiento original comparados con los resultados al aplicar el nuevo procedimiento. Los tiempos de actividades que se realizan en los procedimientos son prácticamente constantes, por lo que se utilizará el tiempo promedio empleado en la actividad. Este análisis se realiza con respecto al segundo caso más común que es cuando falla 1 entrada y se reemplazan los componentes 00195 y 00548 (uno de cada uno).

En la tabla 20 se realiza el análisis valor agregado en el proceso original y en la tabla 21 se realiza el análisis de valor agregado en el nuevo proceso.

Tabla 19. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4021.

Fuente: Autor

Actividad	Proceso Original	Nuevo Proceso	Cambio generado
Técnico recibe la tarjeta afectada	30s. por tarjeta	20s. por tarjeta	10 segundos por tarjeta
Inspección visual	1 min 34s.	1 min 52s.	Aumenta 18s, mejora la calidad al incrementar la detección de errores.
Test eléctrico	N/A	12s.	Aumenta 12s, ayuda con la preservación de equipos de prueba.
Prueba de periféricos	2 min 50s.	45s.	Reducción de 125s (2min 5s), el reporte se genera automáticamente y las pruebas ya no se realizan de forma manual eliminando la probabilidad de errores humanos.
Determinar causas.	2 min.	1 min.	Reduce 1min., detección de daño en el componente 00195 y en 00548 (el tiempo de detección depende del componente).
Reparar (sustituir)	6 min.	6 min.	No presenta cambios, sustitución de los componentes 00195 y 00548 (el tiempo de sustitución depende del componente). Mejora calidad al cumplir con la norma.
Embalar tarjeta	1 min 50s	1 min 20s	Mejora de 30s al tener guías de embalaje.
Regresar el equipo al cliente	4 min 20s. por tarjeta	2 min 53s. por tarjeta	Mejora 87s (1min 27s) por tarjeta, la generación de informes alarga el proceso.

Tabla 20. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4021.

Fuente: Autor, basado en (López, 2007).

PROCELEC Cía. Ltda.										
Procedimiento para la reparación de tarjetas electrónicas										
ANÁLISIS DEL VALOR AGREGADO										
SITUACIÓN ACTUAL		VA		NVA					Tiempo	Tiempo
No	Actividad	VAC	VAO	P	I	E	M	A	(segundos)	(minutos)
1	Recepción de tarjeta defectuosa.		2	5		10	10	3	30	00:30
2	Inspección visual.	35		4	55				94	01:34
3	Pruebas de periféricos	10	10		50		10	90	170	02:50
4	Determinar causas	20	20		60		20		120	02:00
5	Reparar	280	40			20	20		360	06:00
6	Embalar la tarjeta	23	42	6		6	25	8	110	01:50
7	Regresar el equipo al cliente	10	10	10		20	10	200	260	04:20
Total Actividades de VA		378	124							
Total Actividades de NVA				25	165	56	95	301		
Tiempo de ciclo del proceso TCP									1144	19:04
Tiempo de valor agregado TVA									502	08:22
Tiempo de no valor agregado TNVA									642	10:42
Eficiencia de valor agregado TVA/TNVA									0,782	
Eficiencia total del ciclo de proceso TVA/TCP									43,881%	
Eficiencia real del ciclo de proceso TVAC/TCP									33,042%	

Tabla 21 Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4021.
Fuente: Autor, basado en (López, 2007).

PROCELEC Cía. Ltda.										
Procedimiento para la reparación de tarjetas electrónicas										
ANÁLISIS DEL VALOR AGREGADO										
SITUACIÓN ACTUAL		VA		NVA					Tiempo	Tiempo
No	Actividad	VAC	VAO	P	I	E	M	A	(segundos)	(minutos)
1	Recepción de tarjeta defectuosa.		2	4		6	6	2	20	00:20
2	Inspección visual.	47		4	61				112	01:52
4	Test eléctrico	4	3		5				12	00:12
5	Pruebas de periféricos	7			38				45	00:45
6	Determinar causas	10	10		30		10		60	01:00
7	Reparar	280	40			20	20		360	06:00
8	Embalar la tarjeta	15	26	6		6	19	8	80	01:20
9	Regresar el equipo al cliente	8	8	7		15	10	125	173	02:53
Total Actividades de VA		371	89							
Total Actividades de NVA				21	134	47	65	135		
Tiempo de ciclo del proceso TCP									862	14:22
Tiempo de valor agregado TVA									460	07:40
Tiempo de no valor agregado TNVA									402	06:42
Eficiencia de valor agregado TVA/TNVA									1,144	
Eficiencia total del ciclo de proceso TVA/TCP									53,364%	
Eficiencia real del ciclo de proceso TVAC/TCP									43,039%	

Como se puede observar el tiempo del ciclo de proceso tiene una reducción de 1144s (19 min 4s) a 862s (14 min 22s), lo cual significa una mejora de 280s (4min 42s) utilizando el nuevo proceso, esto también genera el incremento de la eficiencia real del proceso de 33.042% a 43.039%. Al igual que en la tarjeta PR-701 se presenta una gran mejora en cuanto al tiempo de ciclo, sin embargo, la eficiencia del proceso se incrementa únicamente en 9.997% un valor similar al obtenido el en la tarjeta PR-701, por las causadas ya citadas.

3.1.3 PR-4010

Continuando con el análisis de resultados procedemos a revisar los datos obtenidos de la tarjeta PR-4010, como se observa en las tablas del anexo 2 las reparaciones de esta tarjeta presentan una alta dificultad y presenta muchas variantes de reparación.

Dentro del anexo 2 en la tabla 45 tenemos datos de las reparaciones con el proceso original, mientras que en la tabla 48 se encuentran las pruebas realizadas con el nuevo proceso, en ambas tablas para las tarjetas PR-4010 únicamente.

En la primera muestra se tuvo 35 tarjetas PR-4010 utilizando el procedimiento original. 1 de ellas fue dada de baja por no tener un estado aceptable.

Se realizaron sustituciones en 18 tipos de componentes, a continuación, en la tabla 22 se muestran los datos de los más frecuentes, con al menos 12 ocurrencias.

Además, se tuvo un solo tipos de reparación que se repitió al menos una vez:

- En 10 tarjetas se reemplazaron componentes 00289 y 00842.
- El resto de tipos de reparación se ejecutaron una sola vez.

*Tabla 22. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-4010.
Fuente: Autor*

Número de inventario	Componentes reemplazados							
	00289	00656	00842	00197	00836	00662	00660	00830
Cantidad de reemplazos por componente	49	37	26	17	13	13	12	12
Cantidad de tarjetas donde se reemplazó el componente	29	7	26	12	13	13	12	6

Para todos los casos de reparación de este tipo de tarjeta se realizó el procedimiento al igual que para la tarjeta PR-701 como se observó en la figura 22 siguiendo las líneas verdes, con la diferencia que algunos casos se repitió la ejecución por el camino de reparación como se detalla en la tabla 23, en rojo tenemos el camino para las que se dieron de baja.

Los daños más comunes que se dieron en estas tarjetas son:

- En 23 tarjetas se registró cortocircuito en 3.3V.
- En 8 tarjetas no se activan las salidas.
- En 2 tarjetas error en puerto CAN.
- En 2 tarjetas error en señal ámbar.

*Tabla 23. Variaciones en el proceso de reparación de la tarjeta PR-4010.
Fuente: Autor*

Tipo	Ocurrencias
1 reintento	7
2 reintentos	13
3 reintentos	9
4 reintentos	2
5 reintentos	2
6 reintentos	1

En el segundo censo se tuvo 45 tarjetas PR-4010 utilizando el nuevo procedimiento. 3 de ellas fueron dadas de baja por no presentar un estado aceptable.

Se realizaron cambios a 19 tipos de componentes en las 42 tarjetas que tuvieron reemplazos, de esto se extraen los datos que se observan en la tabla 24, al igual que la primera muestra tenemos marcada la tendencia de sustituciones del elemento 00195. El componente 00289 es un seguidor con habilitar para protección de las entradas y salidas del microcontrolador. En este caso analizamos los mismos componentes que en el proceso original, debido a la variabilidad presentada.

*Tabla 24. Datos obtenidos de las reparaciones de la tarjeta PR-4010.
Fuente: Autor*

Número de inventario	Componentes reemplazados							
	00289	00656	00842	00197	00836	00662	00660	00830
Cantidad de reemplazos por componente	54	13	23	15	4	3	3	2
Cantidad de tarjetas donde se reemplazó el componente	30	3	23	10	4	3	3	1

Además, se tuvieron 4 tipos importantes de procesos que se dieron en al menos 4 ocasiones cada uno:

- En 14 tarjetas se reemplazaron componentes 00289 y 00842
- En 5 tarjetas se reemplazaron únicamente componentes 00289.
- En 3 tarjetas se reemplazaron únicamente componentes 00957.
- 3 tarjetas fueron dadas de baja.

Los daños más comunes son:

- En 25 tarjetas se registró cortocircuito en 3.3V.
- En 9 tarjetas no se activan las salidas.
- En 3 tarjetas error en señal ámbar.
- En 2 tarjetas error en puerto CAN.

El procedimiento efectuado fue igual al ejecutado en la tarjeta PR-701 que se observó en la figura 23, en líneas verdes tenemos el procedimiento realizado para los casos de reparación, con la diferencia que algunos casos se repitió la ejecución por el camino de reparación como se detalla en la tabla 25, en rojo tenemos el camino para las que se dieron de baja.

*Tabla 25. Variaciones en el proceso de reparación de la tarjeta PR-4010.
Fuente: Autor*

Tipo	Ocurrencias
1 reintento	14
2 reintentos	22
3 reintentos	3
4 reintentos	1
5 reintentos	2

En la tabla 26 analizaremos los resultados obtenidos al emplear el procedimiento original comparados con los resultados al aplicar el nuevo procedimiento. Los tiempos de actividades

que se realizan en los procedimientos son prácticamente constantes, por lo que se utilizará el tiempo promedio empleado en la actividad. Este análisis se realiza con respecto al segundo caso más común que es cuando falla 1 entrada y se reemplazan los componentes 00289 y 00842 (uno de cada uno).

Tabla 26. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4010.

Fuente: Autor

Actividad	Proceso Original	Nuevo Proceso	Cambio generado
Técnico recibe la tarjeta afectada	30s. por tarjeta	20s. por tarjeta	10 segundos por tarjeta
Inspección visual	2 min.	2 min 23s.	Aumenta 23s, mejora la calidad al incrementar la detección de errores.
Test eléctrico	N/A	12s.	Aumenta 12s, ayuda con la preservación de equipos de prueba.
Prueba de periféricos	3 min 15s.	47s.	Reducción de 148s (2min 28s), el reporte se genera automáticamente y las pruebas ya no se realizan de forma manual eliminando la probabilidad de errores humanos.
Determinar causas.	2 min 30s.	1 min 30s.	Reduce 1min., detección de daño en el componente 00289 y en 00842 (el tiempo de detección depende del componente).
Reparar (sustituir)	8 min 40s.	8 min 40.	No presenta cambios, sustitución de los componentes 00289 y 00842 (el tiempo de sustitución depende del componente). Mejora calidad al cumplir con la norma.
Embalar tarjeta	1 min 50s	1 min 20s	Mejora de 30s al tener guías de embalaje.
Regresar el equipo al cliente	4 min 40s. por tarjeta	3 min 10s. por tarjeta	Mejora 90s (1min 30s) por tarjeta, la generación de informes alarga el proceso.

En la tabla 27 se realiza el análisis valor agregado en el proceso original y en la tabla 28 se realiza el análisis de valor agregado en el nuevo proceso.

Tabla 27. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4010.
Fuente: Autor, basado en (López, 2007).

PROCELEC Cía. Ltda.												
Procedimiento para la reparación de tarjetas electrónicas												
ANÁLISIS DEL VALOR AGREGADO												
SITUACIÓN ACTUAL		VA		NVA					Tiempo	Tiempo		
No	Actividad	VAC	VAO	P	I	E	M	A	(segundos)	(minutos)		
1	Recepción de tarjeta defectuosa.		2	5		10	10	3	30	00:30		
2	Inspección visual.	42		5	73				120	02:00		
3	Pruebas de periféricos	10	10		65		10	100	195	03:15		
4	Determinar causas	20	20		90		20		150	02:30		
5	Reparar	420	60			20	20		520	08:40		
6	Embalar la tarjeta	23	42	6		6	25	8	110	01:50		
7	Regresar el equipo al cliente	10	10	10		20	10	220	280	04:40		
Total Actividades de VA		525	144									
Total Actividades de NVA				26	228	56	95	331				
Tiempo de ciclo del proceso TCP									1405	23:25		
Tiempo de valor agregado TVA									669	11:09		
Tiempo de no valor agregado TNVA									736	12:16		
Eficiencia de valor agregado TVA/TNVA									0,909			
Eficiencia total del ciclo de proceso TVA/TCP									47,616%			
Eficiencia real del ciclo de proceso TVAC/TCP									37,367%			

Tabla 28. Resultados comparativos de los procedimientos para PR-4010.
Fuente: Autor, basado en (López, 2007).

PROCELEC Cía. Ltda.												
Procedimiento para la reparación de tarjetas electrónicas												
ANÁLISIS DEL VALOR AGREGADO												
SITUACIÓN ACTUAL		VA		NVA					Tiempo	Tiempo		
No	Actividad	VAC	VAO	P	I	E	M	A	(segundos)	(minutos)		
1	Recepción de tarjeta defectuosa.		2	4		6	6	2	20	00:20		
2	Inspección visual.	47		5	91				143	02:23		
4	Test eléctrico	4	3		5				12	00:12		
5	Pruebas de periféricos	8			39				47	00:47		
6	Determinar causas	10	10		60		10		90	01:30		
7	Reparar	420	60			20	20		520	08:40		
8	Embalar la tarjeta	15	26	6		6	19	8	80	01:20		
9	Regresar el equipo al cliente	8	8	7		15	10	142	190	03:10		
Total Actividades de VA		512	109									
Total Actividades de NVA				22	195	47	65	152				
Tiempo de ciclo del proceso TCP									1102	18:22		
Tiempo de valor agregado TVA									621	10:21		
Tiempo de no valor agregado TNVA									481	08:01		
Eficiencia de valor agregado TVA/TNVA									1,291			
Eficiencia total del ciclo de proceso TVA/TCP									56,352%			
Eficiencia real del ciclo de proceso TVAC/TCP									46,461%			

Como se puede observar el tiempo del ciclo de proceso tiene una reducción de 1405s (23 min 25s) a 1102s (18 min 22s), lo cual significa una mejora de 303s (5min 3s) utilizando el nuevo proceso, esto también genera el incremento de la eficiencia real del proceso de 37.367% a 46.461%. Al igual que en la tarjeta PR-701 se presenta una gran mejora en cuanto al tiempo de ciclo, sin embargo, la eficiencia del proceso se incrementa únicamente en 9.094% un valor desviado cerca del 1% con respecto a las otras dos tarjetas analizadas que presentaban mejoras cercanas al 10%, las causas de las mejoras son iguales a las ya citadas para las tarjetas PR-701. En la figura 23 se observa un resumen de las mejoras de eficiencia para las 3 tarjetas analizadas.

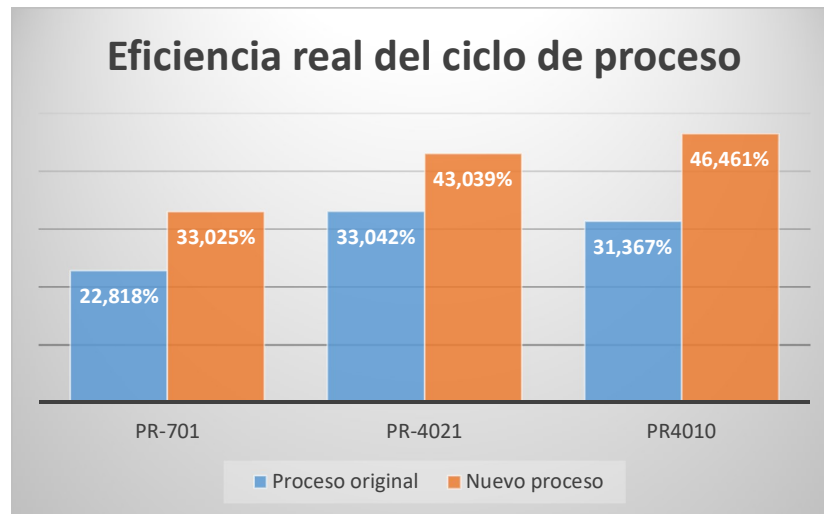


Figura 23. Eficiencia real del ciclo de proceso. Fuente: Autor.

3.1.4 Consideraciones generales

A continuación, analizaremos de manera general las reparaciones que se dieron a todas las tarjetas del presente trabajo. Este resumen resulta muy útil para poder determinar el stock de repuestos que se necesita para reparaciones de estos tipos de tarjetas. Además, se puede proyectar cual será el tiempo de reparación de un lote de tarjetas que lleguen para mantenimiento, de acuerdo al daño que presente la tarjeta. Los tiempos considerados en esta sección son los obtenidos con el nuevo proceso.

Resúmenes de reparaciones.

En las tarjetas *PR-701* ingresaron 102 tarjetas, de las cuales 94 fueron reparadas y 8 fueron dadas de baja. Como resumen tenemos en la tabla 29 los elementos más usados y su porcentaje de uso.

Ingresaron 130 tarjetas *PR-4021*, de las cuales 112 fueron reparadas y 18 fueron dadas de baja. En la tabla 30 tenemos los elementos más usados y su porcentaje de uso.

Ingresaron 80 tarjetas *PR-4010*, de las cuales 94 fueron reparadas y 4 fueron dadas de baja. Como resumen tenemos en la tabla 31 los elementos más usados y su porcentaje de uso.

Tabla 29. Resumen de elementos sustituidos para PR-701.*Fuente: Autor*

Número de inventario	00219	01038	00060	00404
Cantidad de reemplazos por componente	111	10	5	4
Cantidad de tarjetas donde se reemplazó el componente	84	10	5	4
Porcentaje de uso de repuestos por tarjeta	118,085%	10,638%	5,319%	4,255%
Porcentaje de tarjetas en la que se utilizó el componente	89,362%	10,638%	3,191%	3,191%

Tabla 30. Resumen de elementos sustituidos para PR-4021.*Fuente: Autor*

Número de inventario	00195	00548	00989	00603	00660	00836
Cantidad de reemplazos por componente	169	59	20	10	8	7
Cantidad de tarjetas donde se reemplazó el componente	91	46	12	9	8	7
Porcentaje de uso de repuestos por tarjeta	150,893%	52,679%	17,857%	8,929%	7,143%	6,250%
Porcentaje de tarjetas en la que se utilizó el componente	81,250%	41,071%	10,714%	8,036%	7,143%	6,250%

Tabla 31. Resumen de elementos sustituidos para PR-4010.*Fuente: Autor*

Número de inventario	00289	00656	00842	00197	00836	00662	00660
Cantidad de reemplazos por componente	103	50	49	32	17	16	15
Cantidad de tarjetas donde se reemplazó el componente	59	10	49	22	17	16	15
Porcentaje de uso de repuestos por tarjeta	135,526%	65,789%	64,474%	42,105%	22,368%	21,053%	19,737%
Porcentaje de tarjetas en la que se utilizó el componente	77,632%	13,158%	64,474%	28,947%	22,368%	21,053%	19,737%

Tiempos de detección de errores.

En la tabla 32 se observa el tiempo de detección y de sustitución de los elementos más utilizados en el presente trabajo, este tiempo es constante sin importar la tarjeta en la que se encuentre, para elementos complejos como microcontroladores, circuitos integrados programables o transceptores requieren de un análisis y pruebas mucho más complejos, los tiempos de estos componentes no se encuentran registrados en la tabla 32, debido a su variabilidad y complejidad no puede ser estandarizados con un solo tiempo de detección.

*Tabla 32. Resumen de tiempos de detección y sustitución de componentes.
Fuente: Autor*

Elemento	Tiempo de detección (minutos)	Tiempo de sustitución (minutos)
00060, 00989	0:20	0:45
00195	0:25	2:40
00197	1:10	4:20
00219	0:30	1:45
00289	1:10	4:20
00343	2:00	5:40
00404	0:20	0:45
00548, 00549, 00603	0:20	3:20
00656	1:00	4:20
00660	0:50	3:00
00662	NA	5:20
00830	NA	4:15
00833	1:30	3:40
00836	NA	7:00
00842	2:00	4:20
00852	NA	5:20
01038	0:35	0:45

Proyección de tiempos.

En la tarjeta PR-701 con un total de 102 tarjetas analizadas, se sabe que el 92.157% fueron reparadas y basándose en las tablas 29 y 32 podemos deducir que el tiempo medio de detección de fallas y reparación por tarjeta PR-701 será el calculado en la tabla 33, donde tenemos las estadísticas con los elementos más reemplazados.

A este tiempo se le debe agregar los tiempos de las demás actividades para tener un tiempo promedio de ciclo, en la tabla 34 tenemos el cálculo total del tiempo de ciclo proyectado según las estadísticas realizados.

Tabla 33. Resumen de tiempos de detección y sustitución de componentes.
Fuente: Autor

Componente	Uso	Tiempo de detección (minutos)	Tiempo de sustitución (minutos)	Tiempo necesario
00219	1,1805	1:45	0:30	2:39
01038	0,1063	0:35	0:45	0:09
00060	0,0531	0:20	0:45	0:03
00404	0,0425	0:20	0:45	0:03
			Total:	2:54

Tabla 34. Tiempo medio de reparación para PR-701.
Fuente: Autor

Actividad	Tiempo (minutos)
Recepción de tarjeta defectuosa.	0:20
Inspección visual.	0:43
Test eléctrico	0:12
Pruebas de periféricos	0:10
Determinar causas y reparación.	2:54
Embalar la tarjeta	1:00
Regresar el equipo al cliente	2:18
Total	7:37

Para la tarjeta PR-4021 se tuvo un total de 130 tarjetas analizadas, se sabe que el 86.154% fueron reparadas y basándose en las tablas 30 y 32 podemos deducir que el tiempo medio de detección de fallas y reparación por tarjeta PR-4021 será el calculado en la tabla 35, donde tenemos las estadísticas con los elementos más reemplazados. Para el análisis del componente 00836 (microcontrolador PIC32 de 44 pines) se tomará un valor estimado de detección de fallas de 8 minutos.

A este tiempo se le debe agregar los tiempos de las demás actividades para tener un tiempo promedio de ciclo, en la tabla 36 tenemos el cálculo total del tiempo de ciclo proyectado según las estadísticas realizados.

Tabla 35. Resumen de tiempos de detección y sustitución de componentes.
Fuente: Autor

Componente	Uso	Tiempo de detección (minutos)	Tiempo de sustitución (minutos)	Tiempo necesario
00195	1,5089	0:25	2:40	4:39
00548	0,5267	0:20	3:20	1:56
00989	0,1785	0:20	0:45	0:12
00603	0,0892	0:20	3:20	0:20

00660	0,0714	0:50	3:00	0:16
00836	0,0625	8:00	7:00	0:56
			Total:	8:19

*Tabla 36. Tiempo medio de reparación para PR-4021.
Fuente: Autor*

Actividad	Tiempo (minutos)
Recepción de tarjeta defectuosa.	0:20
Inspección visual.	1:52
Test eléctrico	0:12
Pruebas de periféricos	0:45
Determinar causas y reparación.	8:19
Embalar la tarjeta	1:20
Regresar el equipo al cliente	2:53
Total	15:41

Para la tarjeta PR-4010 se tuvo un total de 80 tarjetas analizadas, se sabe que el 95% fueron reparadas y basándose en las tablas 31 y 32 podemos deducir que el tiempo medio de detección de fallas y reparación por tarjeta PR-4010 será el calculado en la tabla 37, donde tenemos las estadísticas con los elementos más reemplazados. Para el análisis del componente 00662 (controlador CAN por SPI) se tomará un valor estimado de detección de fallas de 6 minutos, y 8 minutos para el componente 00836 al igual que en la tarjeta PR-4021.

*Tabla 37. Resumen de tiempos de detección y sustitución de componentes.
Fuente: Autor*

Componente	Uso	Tiempo de detección (minutos)	Tiempo de sustitución (minutos)	Tiempo necesario
00289	1,3552	1:10	4:20	7:27
00656	0,6578	1:00	4:20	3:31
00842	0,6447	2:00	4:20	4:05
00197	0,4210	1:10	4:20	2:19
00836	0,2236	8:00	7:00	3:21
00662	0,2105	6:00	5:20	2:23
00660	0,1973	0:50	3:00	0:45
			Total:	25:07

A este tiempo se le debe agregar los tiempos de las demás actividades para tener un tiempo promedio de ciclo, en la tabla 38 tenemos el cálculo total del tiempo de ciclo proyectado según las estadísticas realizados.

Tabla 38. Tiempo medio de reparación para PR-4021.

Fuente: Autor

Actividad	Tiempo (minutos)
Recepción de tarjeta defectuosa.	0:20
Inspección visual.	2:23
Test eléctrico	0:12
Pruebas de periféricos	0:47
Determinar causas y reparación.	25:07
Embalar la tarjeta	1:20
Regresar el equipo al cliente	3:10
Total	33:19

Mejora de la calidad al profundizar la inspección visual

Profundizando la inspección visual ha ayudado a distinguir de mejor manera las fallas de soldadura generadas por factores externos como humedad, polvo o contaminación ambiental.

Para esta medición se tomaron las 23 tarjetas que se encontraban en reparación en el día que se realizó la capacitación. Las cantidades se pueden observar en la tabla 39.

Tabla 39. Tabla de pads analizados.

Fuente: Autor.

	Pads por tarjeta	Número de tarjetas	Total pads por tipo de tarjeta
PR-701	83	3	249
PR-4021	587	9	5283
PR-4010	1155	11	12705
		Total pads:	18237

En un primer análisis de las tarjetas antes mencionadas, realizado antes de la capacitación se determinó que 15 pads no cumplían las condiciones ideales y que necesitaban reproceso, luego de la capacitación de la norma IPC-A-610 de aceptabilidad de ensamblajes electrónicos, en las mismas tarjetas se determinó que 19 pads no cumplían con los requisitos establecidos por la norma.

Estos defectos no necesariamente generan una falla en la operación de la tarjeta, sin embargo, es necesario corregirlos para evitar daños futuros en la tarjeta, que podrían afectar a la seguridad del entorno donde operan estos equipos.

El incremento de 15 a 19 detecciones representa un incremento del 26,666%. Esta mejora representa la mitigación de 4 fallas en un futuro en un total de 23 de tarjetas analizadas.

Mejora de la calidad en el proceso de reparación

Capacitando al personal en conocimiento de normas IPC los trabajos se han realizado de manera más profesional incrementando el control de calidad en los procesos de reparación.

Para este análisis medición se consideraron todas las tarjetas del último lote de reparación, del proceso original, este lote contiene 8 tarjetas PR-4021 y 10 tarjetas PR4010.

Los detalles se observan en la tabla 40 para la tarjeta PR-4021 donde se observa las tarjetas reparadas, componentes reemplazados, y total de pads.

Tabla 40. Tabla de pads analizados.

Fuente: Autor.

Serie	Daño	00195	01039	00603	00548
15066	No se activa 1 entrada, no se activa 1 salida	1		1	1
15001	No se activa 1 salida	1			
17960	No se activa 1 entrada, sin elemento C10		1		1
14924	No se activan 3 entradas	3			2
17925	No se activan 2 entradas	2			2
15233	No se activa 1 entrada	1			1
15204	No se activa 1 entrada				1
15284	No se activa 1 entrada	1			1
	Total sustituciones	9	1	1	9
	Pads por componente	4	2	2	2
	Total pads por componentes	36	2	2	18
				Total	58

En la tabla 41 se observan los mismos parámetros que en la tabla 40 pero con los datos de la tarjeta PR-4010.

El resultado de las reparaciones de ambos tipos de tarjetas da como resultado 458 pads. Estas reparaciones fueron realizadas antes de la capacitación. Después de la capacitación se hizo una revisión de las tarjetas reparadas con el fin de determinar la cantidad de pads soldados correctamente.

Después de realizado el análisis de los 458 pads se determinó que 11 soldaduras no cumplían con los requerimientos de la norma.

A partir de esto se determina que la calidad antes de la aplicación de la norma es de 97,598%, dando un no cumplimiento del 2,402%.

Luego de capacitar con la norma se realizan verificaciones durante el proceso de reparación para garantizar el 100% del cumplimiento de la norma, incrementando la calidad de las reparaciones al 100%.

Tabla 41. Tabla de pads analizados.

Fuente: Autor.

Serie	Daño	00836	00289	00842	00662	00197	00852	00838	00833
13518	No arranca, error en CAN				1				
13304	No encienden las salidas		1	1					
13977	No encienden las salidas		1	1					
18399	No encienden las salidas		2	1					
18320	No encienden las salidas		2						
18400	No encienden las salidas		2	1					
18316	Cortocircuito en 3,3V	1	1	1			1		
13287	Cortocircuito en 3,3V		1	1					
13390	Cortocircuito en 3,3V	1				1		1	1
13296	Cortocircuito en 3,3V		2	1		1		1	1
	Total sustituciones	2	12	7	1	2	1	2	2
	Pads por componente	44	14	8	20	18	20	2	4
	Total pads por componentes	88	168	56	20	36	20	4	8
								Total	400

Mejoras en los costos del proceso de reparación

En cuanto a los costos se tiene como resultado un aminoramiento de los mismos debido a la reducción en los tiempos de ciclo en la mayoría de actividades, exceptuando los costos de sustituciones debido a que los componentes y tiempos de reemplazo se mantienen.

Para el cálculo del costo vamos a considerar la reparación más común por cada tipo de tarjeta, utilizando las reparaciones realizadas con el proceso original, comparando cuanto costaron con respecto a cuanto hubieran costado utilizando el nuevo procedimiento, esto se detalla a continuación:

- En la tarjeta *PR-701* se realizaron 76 reparaciones de este tipo, donde se tuvo un tiempo inicial de 10:53 y se lo redujo a 7:13, teniendo una mejora de 3:40, lo cual representa una reducción del 33,691%, esto fue analizado en el punto 3.1.1.
- En la tarjeta *PR-4021* se realizaron 20 reparaciones de este tipo, donde se tuvo un tiempo inicial de 19:04 y se lo redujo a 14:22, teniendo una mejora de 4:42, lo cual representa una reducción del 24,650%, esto fue analizado en el punto 3.1.2

- En la tarjeta PR-4010 se realizaron 10 reparaciones de este tipo, donde se tuvo un tiempo inicial de 23:25 y se lo redujo a 18:22, teniendo una mejora de 5:03, lo cual representa una reducción del 20,996%, esto fue analizado en el punto 3.1.3.

En la tabla 42 se observa los tiempos obtenidos con el procedimiento original y a continuación el tiempo que hubiera tomado la misma reparación con el nuevo procedimiento. Luego tenemos el total de tiempo empleado con el proceso original y con el nuevo proceso, y en la última columna la diferencia de tiempos entre procedimientos. En la figura 24 se observan estos tiempos de manera comparativa.

Tabla 42. Tabla de tiempos de ciclo.

Fuente: Autor.

No. Tarjetas reparadas	Tiempos PR-701	Tiempos PR-4021	Tiempos PR-4010	Proceso Original	Nuevo Proceso	Variación de tiempos totales
66	0:10:53			11:58:18		
66	0:07:13				7:56:18	4:02:00
20		0:19:04		6:21:20		
20		0:14:22			4:47:20	1:34:00
10			0:23:25	3:54:10		
10			0:18:22		3:03:40	0:50:30
Total (horas):				22:13:48	15:47:18	6:26:30
Total (días 8 horas):				2,778	1,973	0,805

Como se observa en la tabla, considerando las reparaciones más comunes se ha tenido una reducción de tiempo de 6:26:30, la cual representa el 28,977%, por lo tanto, la reducción del costo de ciclo, representa una reducción del 28,977% del salario de un técnico en esas horas de trabajo.

Considerando un sueldo de un técnico de \$450, tenemos que su hora de trabajo es \$1,875, con el procedimiento original representa \$41,68, mientras que con el nuevo procedimiento tenemos un costo de \$29.60, teniendo un ahorro de \$12,08 (28,977%).

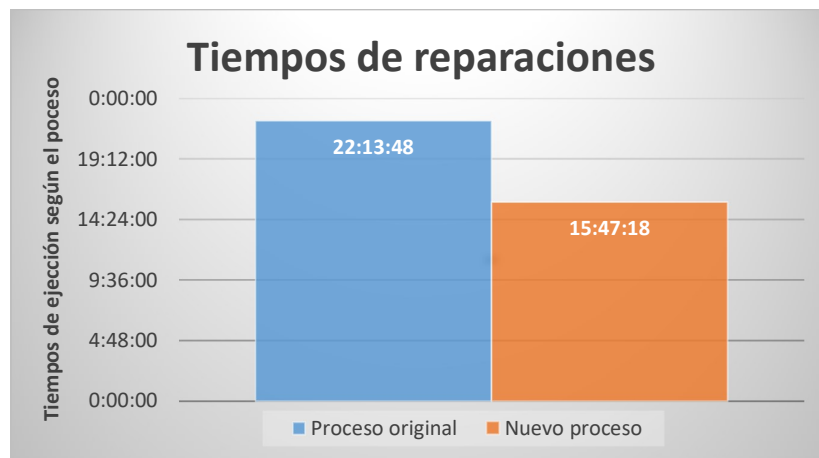


Figura 24. Tiempo total de reparaciones. Fuente: Autor

CONCLUSIONES

- Se ha comprobado que al estandarizar el proceso de reparación de tarjetas electrónicas y utilizando normas internacionales junto con métodos y herramientas de mejora de procesos se han obtenido mejores resultados.
- Para garantizar la satisfacción del cliente se ha priorizado reducir los tiempos del proceso y se ha mejorado la calidad del mismo, en cuanto a la calidad se ha mejorado en dos aspectos prioritarios, el primero es en la inspección visual para mitigar la aparición de fallas futuras por factores como errores en soldaduras, humedad, contaminación ambiental y polvo; el otro punto es la utilización de estándares internacionales para mejorar la calidad de las reparaciones.
- La estandarización de proceso ha generado una reducción importante de los ciclos de proceso, como se observó los tiempos de ciclo mejoraron entre el 33,691% y 20,996%, generando una tendencia de mejoras de la eficiencia real del ciclo de proceso (TVA/TVP), para tarjetas sencillas y de complejidad media la mejora de la eficiencia fue del 10% aproximadamente, mientras que para tarjetas complejas fue de 9%. Esto generó una reducción de costos del 28,997% en cuanto al costo de mano de obra.
- La estandarización e implementación del procedimiento ha facilitado el desarrollo del mismo, reduciendo los tiempos de ejecución de las actividades por medio de las herramientas de mejora, simplificando las actividades de preparación por medio del SMED, regulando los movimientos, ordenamiento y limpieza al utilizar las 5's y reduciendo los errores humanos mediante la herramienta poka yokes.
- La capacitación del personal con estándares en el campo de mantenimiento electrónico ha permitido la mejora de la calidad de los trabajos realizados, así como ha permitido junto con la realización de manuales y lecciones de un solo punto la rápida detección de fallas logrando reducir considerablemente los tiempos empleados en la localización de componentes defectuosos.

RECOMENDACIONES

- A pesar de que la estandarización generó mejoras es importante continuar con la capacitación continua y uso de normativas para mejorar la calidad de los productos, para mantener en constante mejora al proceso se deben utilizar los indicadores como retroalimentación para seguir mejorando la eficiencia del mismo.
- En cuanto a la calidad se deben mantener los procesos de inspección visual, se recomienda utilizar inspección visual asistida, al ser automatizada se podrá reducir el tiempo de esta actividad y se evitarán errores humanos en la detección de fallas en los puntos de soldadura.
- Para mejorar en eficiencia y costos se debe considerar las siguientes mejoras:
 - Capacitación del personal de diseño en los siguientes aspectos:
 - DFM (Design for Manufacturability) es un proceso para diseño de tarjetas electrónicas, con el fin de optimizar los procesos de ensamble, pruebas de funcionamiento, compra de componentes e insumos. y servicio técnico y reparación
 - DFT (Design for Testing) es una técnica para facilitar las pruebas de ensamble a las tarjetas electrónicas, esto permite menores tiempos y costos de prueba.
 - DFA (Design for Assembly) es una técnica para diseño de tarjetas electrónicas, con el fin de reducir tiempos de ensamblaje, costos de las partes, y tiempos de proceso de ensamble.
 - Se debe aplicar un método para automatizar la generación de informes finales del proceso de reparación.
 - Considerar adquirir un módulo semiautomático para las pruebas V-I que podría ayudar a reducir los tiempos de detección de fallas.

BIBLIOGRAFÍA

- Coronel I. (2016). *Modelo de gestión por procesos para PyME*. Universidad del Azuay
- Agudelo L. (2012). *Evolución de la gestión por procesos*. Medellín: ICONTEC.
- Pérez J. (2010). *Gestión por procesos*, 4ta edición. Madrid: ESIC Editorial.
- Insaf A., Baig M. S., Nayya Z. A., Baig M. A. (2014). Techniques to Identify and Test PCB Faults with Proposed Solution. *Journal of Basic & Applied Science*, 10, 532-536
<http://dx.doi.org/10.6000/1927-5129.2014.10.71>
- Lowne A. (2013). *Analog Signature Analysis – Testing Unpowered PCBs*. Recuperado de:
<http://www.saelig.com/supplier/saelig/An%20Introduction%20to%20VI%20TestingP.pdf>
- Oefftering R. C., Wade R. P. (2011) *Component-Level Electronic-Assembly Repair (CLEAR) Spacecraft Circuit Diagnostics by Analog and Complex Signature Analysis*. NASA/TM-2011-216952 CLEAR-RPT-003. Recuperado de:
<https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20110007007>
- IPC. (2018). *IPC Standards Tree*. Recuperado de:
https://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/SpecTree.pdf
- Tezel A, (2016), *Introduction to SMED: A Neglected Method in Lean Construction*.
 Recuperado de: <http://leanconstructionblog.com/Single-Minute-Exchange-of-Dies-A-Neglected-Method-in-Lean-Construction.html>
- Creative Safety Supply. (2017). 5s Guide. Recuperado de:
<http://www.creativesafetysupply.com/content/public/Guide-5S.pdf>
- Creative Safety Supply. (s.f.). 5S Training and Research Page | Learn About 5S.
 Recuperado de: <https://www.creativesafetysupply.com/content/education-research/5S/index.html>
- Poppe R. (2014). Electronic PCB assembly testing: In-Circuit Test or Flying Probe?
 Recuperado de: <https://blog.jjsmanufacturing.com/electronic-pcb-assembly-testing-in-circuit-test-or-flying-probe>
- Putala R. (2014). In-Circuit vs. Functional Test. Recuperado de:
<http://www.bloomy.com/support/blog/circuit-vs-functional-test>
- Salazar B. (2016). Lección de un punto (LUP - OPL). Recuperado de:
<https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/gestion-y-control-de-calidad/leccion-de-un-punto-lup-opl/>

ANEXO 1

Algunos de los planos, manuales de prueba y lecciones de un punto utilizados en esta implementación.

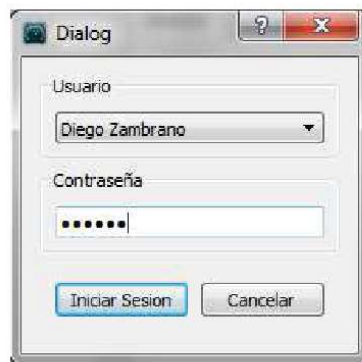


TestPRxx_V1.0.0
MANUAL DE USUARIO

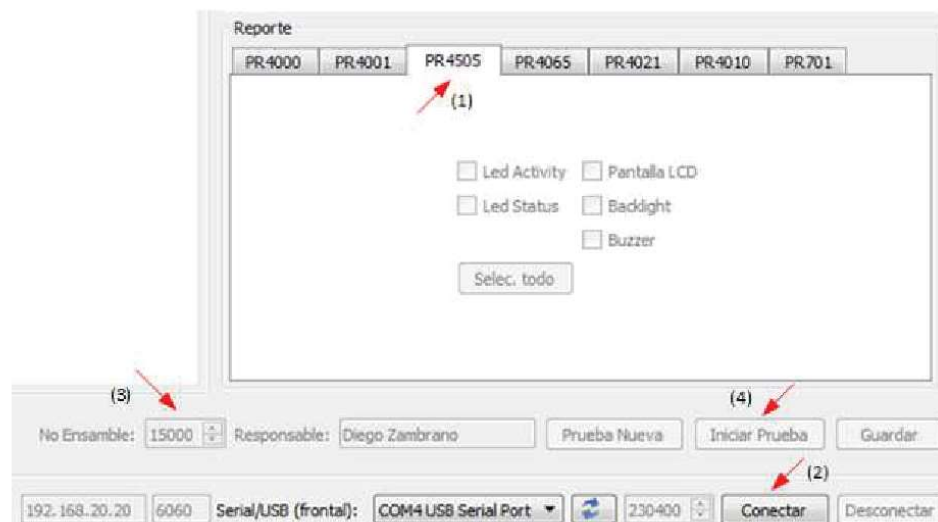
Es un software estandarizado para realizar la prueba de periféricos, cuenta con sesión de usuarios, para la generación automática de reportes.

Pasos para realizar las pruebas:

- Preparar la tarjeta a realizar la prueba (ver manual por tarjeta).
- Conectar el cable de comunicación.
- Abrir el SW e iniciar sesión



- A continuación en el software de pruebas seleccionar el tipo de tarjeta a probar (1).





- Establecer comunicación dando clic en "Conectar" (2).
- Ingresar el número de ensamble (3).
- Clic en "Iniciar Prueba" (4).
- Las pruebas sin ningún proceso manual se guardarán automáticamente al terminar la prueba (El SW indicará en la barra de estado si el reporte fue grabado, caso contrario dar clic en guardar al terminar la prueba manual).

Prueba automática realizada (11s; 10232ms). Generar reporte al finalizar prueba manual o visual

Guardado (s: 115; ms: 114849)

Se recomienda al cambiar de tipo de tarjeta a probar desconectar el puerto de comunicación haciendo clic en "Desconectar".



Nota: En todas las tarjetas los leds indicadores y elementos sonoros deben ser visualizados y escuchados respectivamente por el técnico encargado de la prueba para comprobar su estado.

Anexo 1. A. Manual del software genérico de pruebas

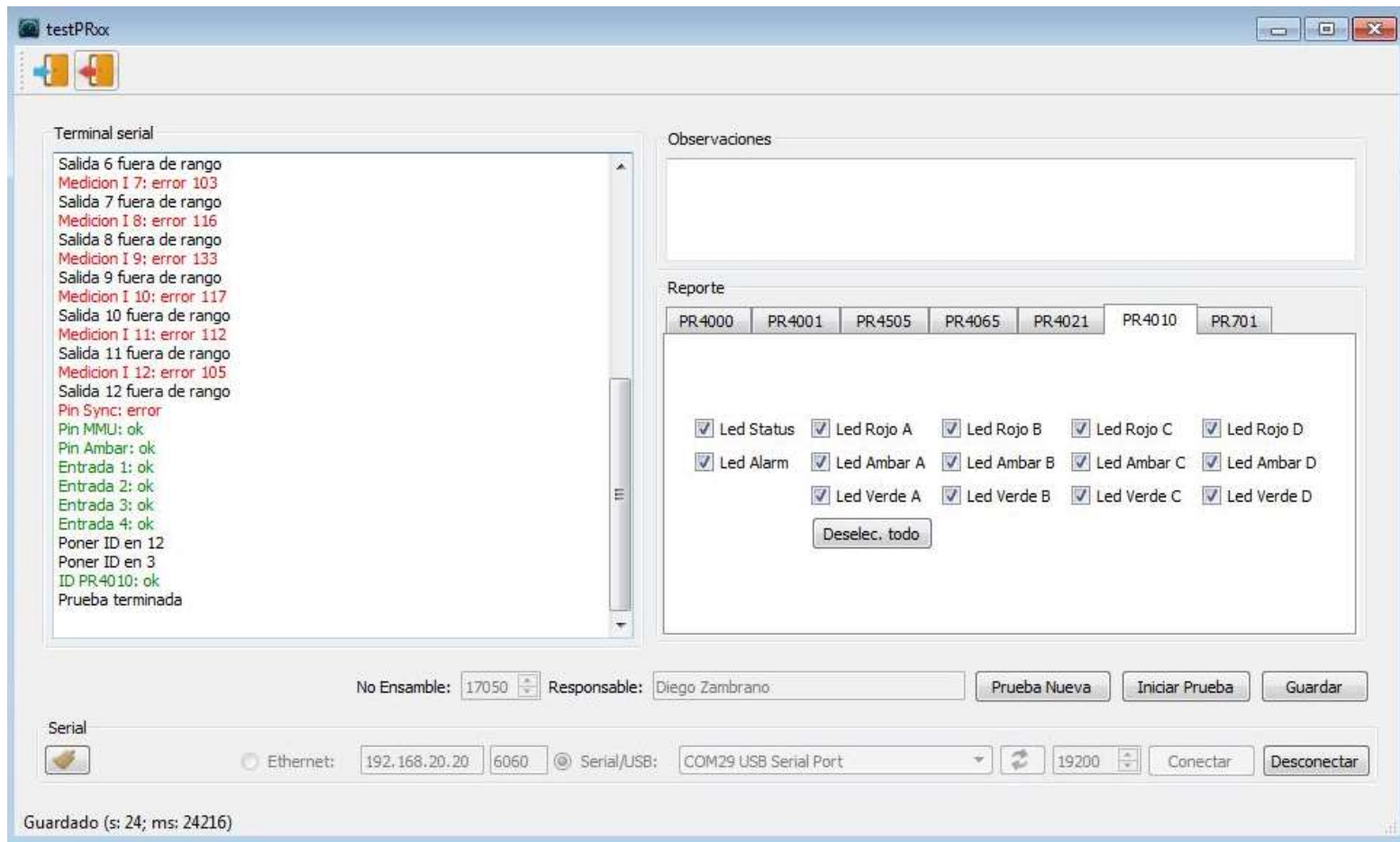


Figura 25. Prueba realizada a una tarjeta PR-4010 antes de la reparación. Fuente: Autor

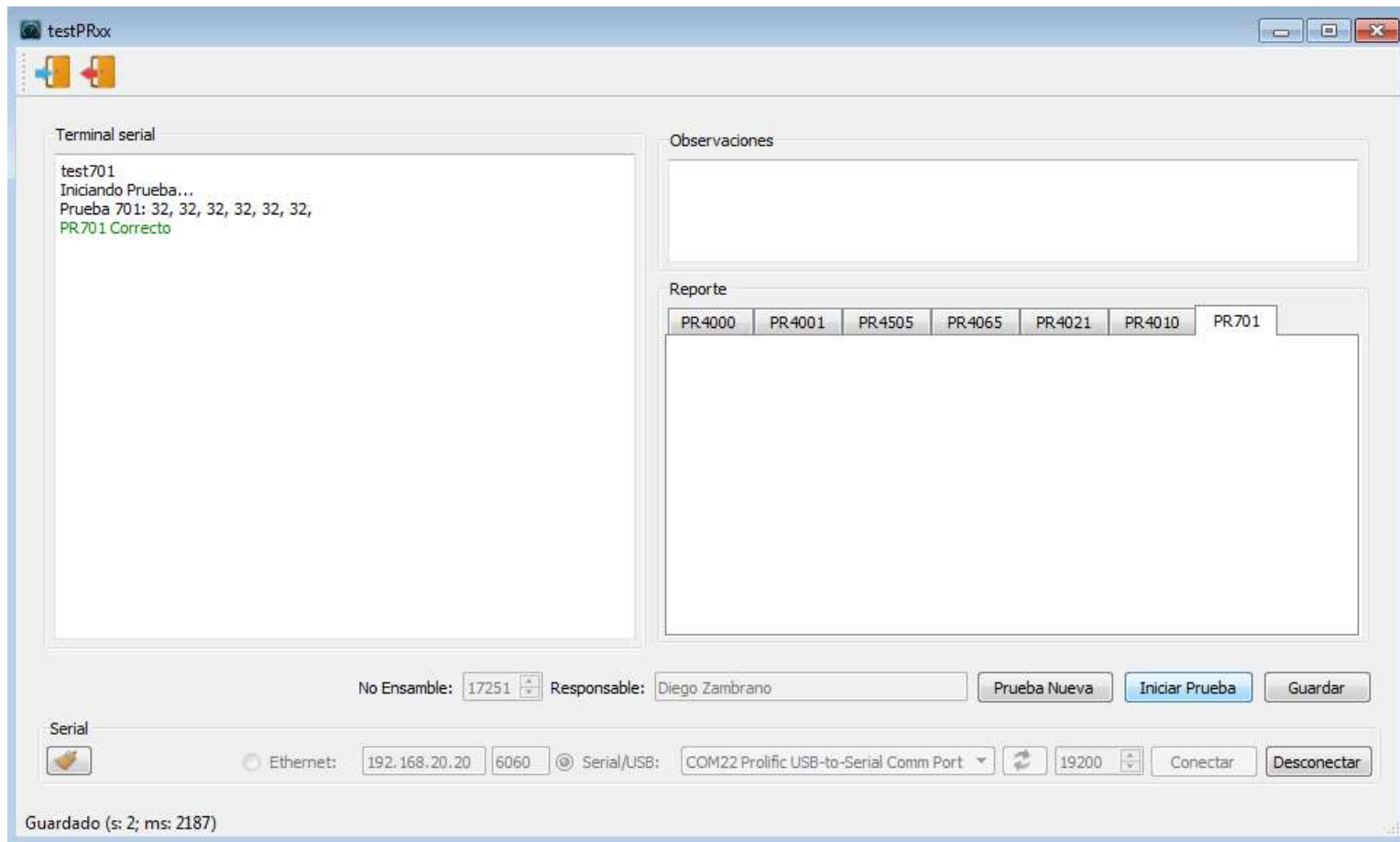


Figura 26. Prueba realizada a una tarjeta PR-701 luego de la reparación. Fuente: Autor.

	REPORTE DE PRUEBAS PR4021 - BARRIER	CÓDIGO: RPE-27 VERSIÓN: 01 FECHA: 02-02-2018
---	--	--

Responsable: Juan Alvarez
Fecha: 06-03-2018
Ensamble: 15000

Item	Periféricos	Estado	
		Funciona	No funciona
1	Memoria 25AA080	X	
2	CAN	X	
3	Salida 1	X	
4	Salida 2	X	
5	Salida 3	X	
6	Salida 4	X	
7	Entrada 1	X	
8	Entrada 2	X	
9	Entrada 3	X	
10	Entrada 4		X
11	Entrada 5	X	
12	Entrada 6	X	
13	Entrada 7	X	
14	Entrada 8		X
15	Entrada 9	X	
16	Entrada 10		X
17	Entrada 11	X	
18	Entrada 12	X	
19	Entrada 13	X	
20	Entrada 14	X	
21	Led Status	X	
22	Led Alarm	X	
23	Led CAN		X
24	Led CAN Ext	X	
25	Led salida 1	X	
26	Led salida 2	X	
27	Led salida 3		X
28	Led salida 4	X	
29	Switch	X	

Anexo 1. B. Reporte generado por el software de pruebas. Fuente: Autor.

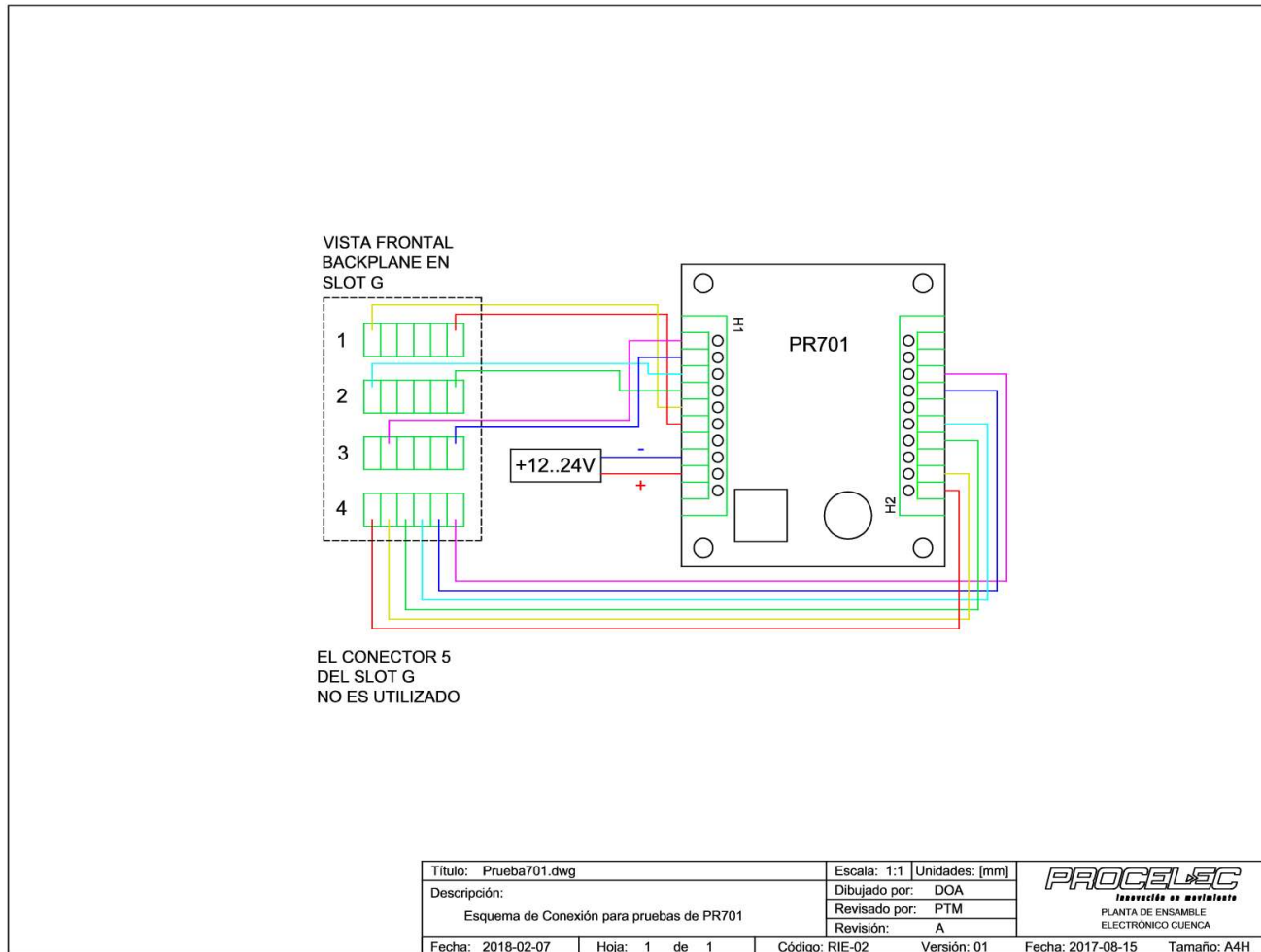

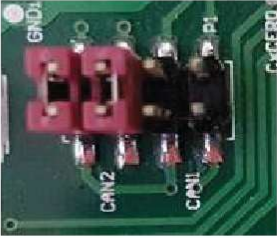






Figura 27. Diagrama del arnés de pruebas para la tarjeta PR-701. Fuente Autor.

		Lección de un punto		CÓDIGO: RPE-28 VERSIÓN: 01 FECHA: 2018-02-04	
Estación:	Reparación	Producto:	PR-4010		
Realizado por:	Daniel Ortega	Descripción:	Preparación para pruebas		
1		Poner jumpers en la posición CAN 2	2		Poner el dipswitch 1 en ON y los demás en OFF
3		Poner el ID en 0	4		Colocar la tarjeta en el slot I del chasis 2
5		Cargar el FW de pruebas: PR4010_Test_v1.0.0_080318			

Anexo 1. C. Lección de un punto, contiene la preparación de una tarjeta PR-4010 para la prueba de funcionamiento. Fuente: Autor.

ANEXO 2

Datos obtenidos en los procesos de reparación.

Tabla 43. Datos obtenidos para la tarjeta PR-701 con el proceso original.

Fuente: Autor.

ORDEN	SERIE	DAÑO	00219	001038	00404	01003	01005	01007	00060	01046
31	16654	1 entrada dañada	1							
31	14141	1 entrada dañada	1							
31	16627	1 entrada dañada	1							
31	14307	1 entrada dañada	1							
31	16688	2 entradas dañadas	2							
31	13697	Dañada								
31	13546	Sin elemento C1					1			
31	13763	1 entrada dañada	1							
31	13590	1 entrada dañada	1	1						
31	16566	1 entrada dañada	1							
31	13768	2 entradas dañadas	2							
31	16522	1 entrada dañada	1							
31	13541	3 entradas dañadas	2	1						
31	16487	1 entrada dañada	1	1						
31	16730	1 entrada dañada	1							
31	13777	1 entrada dañada	1							
31	14186	2 entradas dañadas	2							
31	16590	2 entradas dañadas	2							
31	16512	Dañada								
31	16459	1 entrada dañada	1							
31	13690	1 entrada dañada	1							
31	14153	No enciende D1.A2	1							
31	13641	1 entrada dañada	1							
31	14274	2 entradas dañadas	2							
31	14190	1 entrada dañada	1							
31	13586	1 entrada dañada	2	1	1					
31	16795	2 entradas dañadas	2							
31	17166	1 entrada dañada	1							
31	16672	1 entrada dañada	1	1				1		
31	14258	1 entrada dañada	1							
31	17189	1 entrada dañada	1							
31	14149	3 entradas dañadas	3							
31	16620	1 entrada dañada	1							
31	13834	2 entradas dañadas	2							
31	14150	1 entrada dañada	1							
31	17211	1 entrada dañada	1							
31	13596	1 entrada dañada	1							
31	16653	1 entrada dañada	1							
31	17374	2 entradas dañadas	2							
31	13882	1 entrada dañada	1							
31	13894	1 entrada dañada, sin los 3 elementos F1			2	3				
31	17128	1 resistencia quemada							1	
31	16462	1 entrada dañada	1							
31	13687	1 entrada dañada	1							
31	16709	1 entrada dañada	1							
31	16543	1 entrada dañada	1							
31	14329	Dañada								
31	16596	1 entrada dañada	1							
31	16492	2 resistencias quemadas							3	
31	13848	1 entrada dañada	1							
31	13912	1 entrada dañada	1							
31	13733	1 entrada dañada	2							
31	16788	2 entradas dañadas	2							
31	13780	1 entrada dañada, sin elemento R3.A2	1	1						
31	16807	2 entradas dañadas	2							
31	17311	2 entradas dañadas	2							
31	14323	1 entrada dañada	1							
31	13587	1 entrada dañada	1							
31	16715	1 entrada dañada	1							
31	16741	2 entradas dañadas	2							
31	16450	1 entrada dañada		1						

31	17295	2 entradas dañadas	2							
31	13734	1 entrada dañada						1		
31	14326	1 entrada dañada	1							
31	16524	1 entrada dañada	1							
31	14275	1 entrada dañada	1							
31	13716	1 entrada dañada	1							
31	16772	2 entradas dañadas	2							
31	17377	1 entrada dañada	1							
31	16558	2 entradas dañadas	2							
31	16605	3 entradas dañadas	3	1	1					
31	16737	1 entrada dañada	1							
31	17258	2 entradas dañadas	2							
31	13846	1 entrada dañada	1	1					1	
31	16745	1 entrada dañada	1							
31	16696	1 entrada dañada	1							
31	13727	1 entrada dañada	1							
31	13833	Dañada								
31	16842	1 entrada dañada	1							
31	17363	1 entrada dañada	1							
31	17148	1 entrada dañada	1							
31	14322	1 entrada dañada	1							
31	16646	Sin elemento R3.A3		1						
31	16780	1 entrada dañada	1							
31	16718	Dañada								
31	16508	1 entrada dañada	1							
31	13603	Dañada								
31	16824	Dañada								
	Total	88	97	10	4	3	1	1	5	1
	Dañadas	7	74	10	3	1	1	1	3	1
	Porcentaje 1		119,753%	12,346%	4,938%	3,704%	1,235%	1,235%	6,173%	1,235%
	Porcentaje 2		91,358%	12,346%	3,704%	1,235%	1,235%	1,235%	3,704%	1,235%

Tabla 44. Datos obtenidos para la tarjeta PR-4021 con el proceso original. Fuente: Autor.

OT	ENSAMBLE	DAÑO	00195	00660	00662	00836	00289	00989	00377	00994	00197	01039	00387	00374	00603	00548	00549	00795	Reintentos
33	15223	No se activan 2 entradas	1						2						1				1
33	14884	No se activa 1 entrada	1																1
33	15331	No se activan las salidas					1												1
33	15227	Error en CAN, sin elementos R10 y D4	1										1	1					3
33	14796	Cortocircuito en 3,3V		1	1	1				1									3
33	15233	Cortocircuito en 3,3V		1	1	1													4
33	14822	Error en puerto CAN		1															2
33	15308	Dañada																	0
33	12965	No se activan 4 entradas	4					2											1
33	14839	No se activan 2 entradas	2																1
33	15017	No se activa 1 entrada														1			1
33	14881	Cortocircuito en 3,3V	2	1						1									3
33	15026	No se activan 3 entradas	2					1							1	1	1		1
33	15250	No se activan 4 entradas	1					4								1			2
33	14871	Cortocircuito en 3,3V	3	1	1	1		2		1						4			4
33	14864	Dañada																	0
33	15277	No se activan 3 entradas, no se activa 1 salida	4												1				1
33	15322	Cortocircuito en 3,3V	3				1	2	1										3
33	17008	Dañada																	0
33	14888	No se activa 1 entrada	1																1
33	15163	No se activa 1 entrada	1																1
37	15250	No se activan 2 entradas	2																1
37	15130	No se activa 1 entrada	1																1
37	15236	No se activa 1 entrada, no se activa 1 salida	2																1
37	14839	No se activa 1 entrada														1			1
37	14941	Dañada																	0
37	15106	No se activa 1 entrada	2													1			1
37	15046	No se activa 1 entrada	1																1
37	14910	No se activa 1 entrada	2																1
37	15274	Cortocircuito en 3,3V, no se activan las salidas	5			1		2		2									4
37	16979	Cortocircuito en 3,3V				1					1								1
37	15006	No se activa 1 entrada	1																1
37	15001	No se activan 3 entradas	3																1
37	15009	No se activan 4 entradas, no se activa 1 salida	5																1
37	14826	No se activa 1 entrada, no se activa 1 salida	1												1	1			1
37	14967	No se activa 1 salida	1												1				1
37	15227	No se activa 1 entrada, no se activa 1 salida	2																1
37	17095	No enciende el led CAN														1			1
38	14940	No se activa 1 entrada	1					2								1			1
38	14973	No se activa 1 salida													1				1

38	15148	No se activan 3 entradas	3					1								1			1
38	15049	No se activa 1 entrada, no se activa 1 salida	1					1											1
38	14960	No se activa 1 entrada	1					1											1
38	15322	No se activan 2 entradas	3																1
38	17058	No se activa 4 salidas	4																1
38	15017	No se activa 1 entrada	1																1
38	14946	No se activa 1 entrada	1					1											1
38	14950	No se activa 1 entrada	1													1			1
38	15301	No se activa 1 entrada	1													1			1
38	14977	No se activa 1 entrada														1			1
38	15146	No se activa 1 entrada	1													1			1
38	13089	No se activa 1 salida	1													1			1
38	15307	Dañada																	0
38	14930	No se activa 1 entrada	1																1
39	15219	Error en puerto CAN		1	1														2
39	15266	No se activa 1 entrada	1																1
39	15253	No se activa 1 entrada	1													1			1
39	15258	No se activan 2 entradas	2														1		1
39	14996	No se activa 1 entrada	1																1
39	14821	No se activan 2 entradas	2														1		1
39	15337	No se activan 2 entradas	2					1						1	1	1			1
39	15023	Dañada																	0
39	15192	Dañada																	0
39	15111	Dañada																	0
39	12954	No se activan 3 entradas	3													2			1
39	15286	Cortocircuito en 3,3V		1														1	2
39	15333	Cortocircuito en 3,3V		1	1	1													2
46	15066	No se activa 1 entrada, no se activa 1 salida	1											1	1				1
46	15001	No se activa 1 salida	1																1
46	15006	Dañada																	0
46	17105	Dañada																	0
46	17960	No se activa 1 entrada, sin elemento C10									1					1			1
46	14924	No se activan 3 entradas	3													2			1
46	17925	No se activan 2 entradas	2													2			1
46	15233	No se activa 1 entrada	1													1			1
46	15204	No se activa 1 entrada														1			1
46	15284	No se activa 1 entrada	1													1			1
46	17890	Dañada																	0
Total		78	95	8	4	6	3	20	3	5	1	1	1	1	8	31	4	1	55
Dañadas		11	52	8	4	6	3	12	2	4	1	1	1	1	8	25	4	1	5
Porcentaje 1			141,791%	11,940%	5,970%	8,955%	4,478%	29,851%	4,478%	7,463%	1,493%	1,493%	1,493%	1,493%	11,940%	46,269%	5,970%	1,493%	4
Porcentaje 2			77,612%	11,940%	5,970%	8,955%	4,478%	17,910%	2,985%	5,970%	1,493%	1,493%	1,493%	1,493%	11,940%	37,313%	5,970%	1,493%	3

Tabla 45. Datos obtenidos para la tarjeta PR-4010 con el proceso original. Fuente: Autor.

OT	ENSAMBLE	DAÑO	00836	00289	00842	00660	00662	00197	00656	00852	00521	00830	00343	00344	00994	00006	00795	00838	00833	00957	Reintentos
33	13267	Cortocircuito en 3,3V	1	1	1	1	1														3
33	16041	Cortocircuito en 3,3V, error en señal ámbar	1	1	1	1	1	1	5	1		2		2							5
33	13518	Error en puerto CAN		1	1		1						1								3
33	14061	Cortocircuito en 3,3V	1	3	1	1	1	1		1	1										3
33	15961	Cortocircuito en 3,3V	1	3	1	1	1		4			2									4
33	13378	No encienden las salidas		2	1	1	1	1										1	1		2
33	13413	Cortocircuito en 3,3V		3	1	1		2													3
33	13993	Cortocircuito en 3,3V	1	2	1	1	1	2	3			2									4
33	13504	Cortocircuito en 3,3V	1	1	1	1	1				1										3
33	13501	Cortocircuito en 3,3V, no se programa	1	3	1	1	1	2	12		2	2	1		1						6
33	15872	No encienden las salidas		2																	3
33	13387	Cortocircuito en 3,3V, no encienden las salidas		2	1	1	1														3
33	14069	Cortocircuito en 3,3V		2	1																2
37	13956	Cortocircuito en 3,3V	1					2										1	2		3
37	13966	Cortocircuito en 3,3V	1	2	1			2	9			2				1					1
39	14001	Se quedan encendidos Rojo B y Verde B																		2	1
39	15879	Cortocircuito en 3,3V						1											1		2
39	14087	Salida Rojo B dañada, error en señal ámbar		1					1												2
39	13476	Cortocircuito en 3,3V		1	1																2
39	16076	Dañada																			0
39	13953	Cortocircuito en 3,3V		1	1																2
39	13294	Cortocircuito en 3,3V		2	1																2
39	13999	Cortocircuito en 3,3V	1	2	1	1	1	1	3	1	1	2			1		1				5
39	14056	Cortocircuito en 3,3V		1	1																2
39	13503	Cortocircuito en 3,3V	1	1	1	1	1			1					1						2
46	13518	No arranca, error en CAN					1														2
46	13304	No encienden las salidas		1	1																1
46	13977	No encienden las salidas		1	1																1
46	18399	No encienden las salidas		2	1																1
46	18320	No encienden las salidas		2																	1
46	18400	No encienden las salidas		2	1																1
46	18316	Cortocircuito en 3,3V	1	1	1					1											2
46	13287	Cortocircuito en 3,3V		1	1																2
46	13390	Cortocircuito en 3,3V	1					1										1	1		3
46	13296	Cortocircuito en 3,3V		2	1			1										1	1		2
	Total	35	13	49	26	12	13	17	37	5	5	12	2	2	3	1	1	4	6	2	7
	Dañadas	1	13	29	26	12	13	12	7	5	4	6	2	1	3	1	1	4	5	1	13
	Porcentaje 1		38,235%	144,118 %	76,471%	35,294%	38,235%	50,000%	108,824%	14,706%	14,706%	35,294%	5,882%	5,882%	8,824%	2,941%	2,941%	11,765%	17,647%	5,882%	9
	Porcentaje 2		38,235%	85,294%	76,471%	35,294%	38,235%	35,294%	20,588%	14,706%	11,765%	17,647%	5,882%	2,941%	8,824%	2,941%	2,941%	11,765%	14,706%	2,941%	2

Tabla 46. Datos obtenidos para la tarjeta PR-701 con el nuevo proceso.
Fuente: Autor.

OT	ENSAMBLE	DAÑO	01002	00219	01068
MEMO 319	20141	Sin elemento F2	1		1
MEMO 319	13531	2 entradas dañadas		2	2
MEMO 319	14180	1 entrada dañada		1	
MEMO 319	17124	Dañada			
GUIA 1754	13668	1 entrada dañada		1	
GUIA 1754	14156	2 entradas dañadas		2	
GUIA 1754	14151	2 entradas dañadas		2	
GUIA 1754	13679	1 entrada dañada		1	
GUIA 1754	13790	1 entrada dañada		1	
GUIA 1754	14132	1 entrada dañada		1	
GUIA 1754	14214	1 entrada dañada		1	
GUIA 1754	13926	2 entradas dañadas		2	
GUIA 1754	13806	Sin elemento F2	1		
GUIA 1754	17337	Sin elemento F2	1		
	Total	14	3	14	3
	Dañadas	1	3	10	2
	Porcentaje 1		23,077%	107,692%	23,077%
	Porcentaje 2		23,077%	76,923%	15,385%

GUIA 1754	15047	No se activa 1 entrada		2									1
GUIA 1754	15196	Dañada											0
GUIA 1754	15290	No se activan 2 entradas	1	2									1
GUIA 1754	14910	No se activa 1 entrada		1									1
GUIA 1754	14980	No se activa 1 entrada		2									1
GUIA 1754	14933	No se activa 1 entrada		2									1
GUIA 1754	15216	No se activan 2 entradas, no se activa 1 salida		3									1
GUIA 1754	14924	No se activan 2 entradas		2									1
GUIA 1754	17102	No se activan 3 entradas		3									1
GUIA 1754	15293	No se activa 1 salida	1	2									1
GUIA 1754	14972	No se activan 3 entradas, no se activan 2 salidas		5									1
GUIA 1754	16997	No se activan 2 entradas, no se activa 1 salida	1	4							1		1
GUIA 1754	14954	Error en puerto CAN							1				2
	Total		52	28	74	2	1	1	1	1	2	2	43
	Dañadas		7	21	39	1	1	1	1	1	1	2	2
	Porcentaje 1		62,222%	164,444%	4,444%	2,222%	2,222%	2,222%	2,222%	2,222%	4,444%	4,444%	
	Porcentaje 2		46,667%	86,667%	2,222%	2,222%	2,222%	2,222%	2,222%	2,222%	2,222%	4,444%	

GUIA 1754	13489	Error en señal MMU y Ámbar		1																	1		
GUIA 1754	13459	Se queda encendido Rojo														1					1		
GUIA 1754	15949	Error en señal MMU y Ámbar		2	1					1											1		
GUIA 1754	18346	Cortocircuito en 3,3V, error en señal sync		2	1	1							1						1		3		
GUIA 1754	18340	Error en puerto CAN		2	1																2		
GUIA 1754	13953	Cortocircuito en 3,3V, errores en señales MMU y Ámbar, y salida Ámbar C		2	1			2	1		1				7						5		
GUIA 1754	16041	Dañada																					
GUIA 1754	18300	Dañada																					
GUIA 1754	14082	Cortocircuito en 3,3V		2																	2		
GUIA 1754	18403	Cortocircuito en 3,3V																2			2		
GUIA 1754	18322	Cortocircuito en 3,3V					2			2											3		
GUIA 1754	13473	Cortocircuito en 3,3V, no se encienden las salidas		2	1																2		
GUIA 1754	13936	Cortocircuito en 3,3V		1	1																2		
GUIA 1754	18356	Cortocircuito en 3,3V		2	1														1		2		
GUIA 1754	18400	Cortocircuito en 3,3V					2														2		
GUIA 1754	13404	No encienden las salidas		1																	1		
GUIA 1754	14059	Cortocircuito en 3,3V, error en CAN y medición		2	1						1	1		2	4	1	1		2	1	5		
	Total		45	3	54	23	4	3	15	5	3	5	3	3	1	4	13	2	5	2	4	1	14
	Dañadas		3	3	30	23	4	3	10	5	3	4	3	3	1	3	3	2	5	1	3	1	22
	Porcentaje 1		7,143 %	128,571 %	54,762 %	9,524 %	7,143 %	35,714 %	11,905 %	7,143 %	11,905 %	7,143 %	7,143 %	2,381 %	9,524 %	30,952 %	4,762 %	11,905 %	4,762 %	9,524 %	2,381 %	3	
	Porcentaje 2		7,143 %	71,429 %	54,762 %	9,524 %	7,143 %	23,810 %	11,905 %	7,143 %	9,524 %	7,143 %	7,143 %	2,381 %	7,143 %	7,143 %	4,762 %	11,905 %	2,381 %	7,143 %	2,381 %	1	