

# Optimización de la línea de producción de los módulos Tx & LO

Kiara Beltrán Cruz  
Maestría en Gerencia de Ingeniería  
Dr. Héctor J. Cruzado  
Escuela Graduada  
Universidad Politécnica de Puerto Rico

---

**Resumen** — En una compañía de productos aeroespaciales, defensa y seguridad, problemas en la línea de producción de componentes esenciales para un sistema de radares fueron los causantes del atraso en la entrega del primer sistema y de sobrepasar el presupuesto anual del programa. Luego de observar las actividades de producción, se identificaron varias actividades que mostraron problemas tales como componentes defectuosos, falta de interconexiones entre semiconductores, pruebas de funcionamiento manuales, y equipo de prueba compartido entre diferentes líneas de producción. Para resolver estos problemas, se añadieron puntos de inspección antes de la instalación de componentes y luego de realizar las interconexiones entre semiconductores. También se creó un programa en Matlab para automatizar las pruebas de funcionamiento. En adición, se adquirió un equipo de prueba que elimina la incertidumbre de la disponibilidad de este, y a su vez reduce el tiempo de prueba. Este proyecto logra exitosamente sus objetivos, reduciendo un mes el tiempo de entrega y reduciendo el presupuesto anual aproximadamente \$244,000.

**Términos claves** — Mejora de Procesos, Paquetes Integrados de Microondas, Sistemas de Radares, Pruebas de Radio Frecuencia.

## INTRODUCCIÓN

La compañía NG es uno de los líderes globales en proveer productos aeroespaciales, de defensa, y de seguridad. Esta realiza negocios mayormente con el gobierno de los Estados Unidos, siendo el Departamento de Defensa uno de sus más importantes clientes. Uno de los tantos productos que se diseñan y se manufacturan en NG son los sistemas de antenas y los sistemas de radares.

En la compañía, el departamento encargado de la producción de estos sistemas de antenas recibió

un contrato para entregar dos sistemas de antenas cada año por los próximos diez años. Para que este contrato continúe, se debe cumplir con la fecha de entrega de los primeros dos sistemas con el presupuesto establecido para el primer año y con las especificaciones de desempeño del diseño. Es de suma importancia cumplir con lo establecido en este contrato, no solo para retener el contrato que traerá ganancias millonarias, sino también para mantener una buena relación de negocios con el Departamento de Defensa y no afectar la adquisición de futuros contratos.

Dos problemas que atentan con la retención del contrato fueron identificados. Estos son:

- El primer sistema fue entregado un mes después de la fecha acordada.
- Se espera sobrepasar el presupuesto si no se modifican las actividades de producción.

Este proyecto busca resolver los problemas existentes con la entrega de los sistemas de antena y el problema de sobre presupuesto. Los objetivos de este proyecto son:

- Cumplir con la fecha de entrega del segundo sistema.
- Cumplir con el presupuesto establecido para el año.

Los módulos Tx & LO son componentes esenciales de los sistemas de antenas. Por esta razón, se busca optimizar la línea de producción de estos módulos y así poder cumplir con los objetivos del proyecto.

## REVISIÓN DE LITERATURA

Para lograr la identificación de las actividades que necesitan ser mejoradas, se recomienda la observación del proceso y el mapeo de este. Es vital conocer el proceso en su totalidad y es recomendado realizar lo siguiente [1]:

- Caminar a través del proceso para conocer y observar las operaciones.
- Hablar con los operadores para tener una mejor idea del proceso.
- Entender por qué se necesita arreglar estas actividades.
- Decidir qué actividades deben ser analizadas.
- Escoger un equipo dependiendo de la necesidad del proyecto.
- Conocer que puede salir mal en el proceso y realiza el mapeo con todo tu equipo.

El análisis del flujo del proceso se enfoca en identificar y mejorar actividades operacionales claves, como flow time, inventario, calidad, productividad y la utilización [2].

Es importante cumplir con lo demandado por el cliente. La compañía se debe enfocar en mejorar el servicio al cliente en tiempo, calidad, y costo, para mantener su competitividad en el mercado [3].

Luego de haber encontrado las soluciones, es tiempo de la implementación los cambios. Para que esto sea exitoso se debe involucrar a los empleados. Se debe crear una visión del resultado del cambio, comunicar los efectos del cambio, convencer a los empleados de que es bueno el cambio, enfrentar la resistencia al cambio, y finalmente moverse hacia el cambio [4].

## METODOLOGÍA

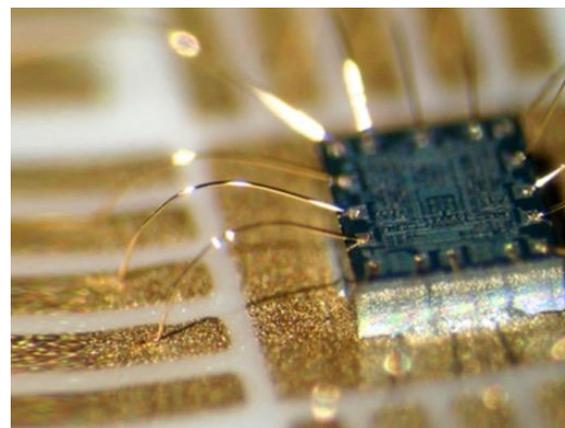
A continuación se mencionan los pasos seguidos en la metodología:

- Observación de las actividades de producción.
- Medición de las actividades de producción.
- Identificación de problemas y actividades de producción que pueden ser mejoradas.
- Ofrecimiento de posibles soluciones a los problemas.
- Análisis y selección de la mejor solución.
- Implementación de los cambios y mejoras.
- Medición de las nuevas actividades de producción y comparación de resultados.

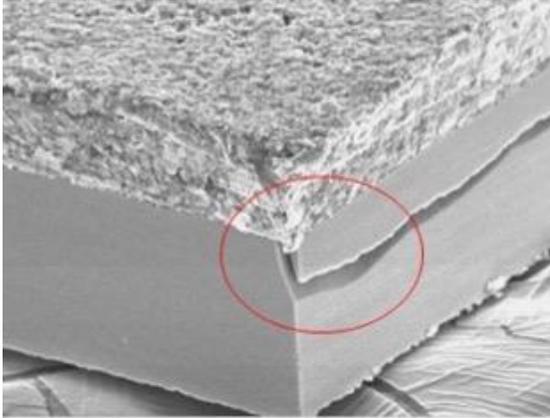
## Problemas Encontrados en Producción

Luego de realizadas las observaciones, se encontraron varias actividades que presentaron problemas. Estas son las siguientes:

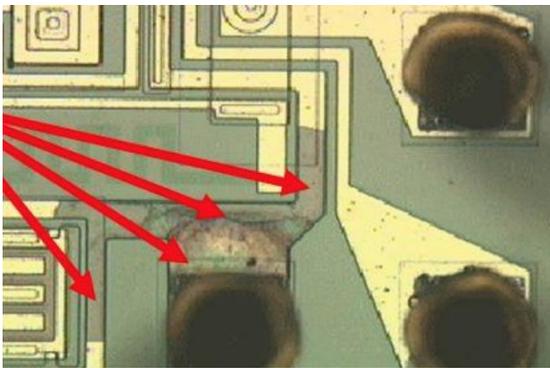
- **Estación de interconexiones entre semiconductores:** Una de las actividades que necesitó ser mejorada fue el proceso de crear interconexiones entre semiconductores. Varias unidades mostraron conexiones incompletas o puestas en lugares incorrectos. La Figura 1 muestra un semiconductor con sus interconexiones completadas correctamente.
- **Instalación de componentes:** Otro de los problemas encontrados fue la instalación de componentes defectuosos. Varias de estas unidades mostraban componentes agrietados como se muestra en la Figura 2, con oxidación como se muestra en la Figura 3, con daños pequeños, entre otros desperfectos.
- **Equipo de prueba:** Otro problema fue la disponibilidad del equipo de prueba, y como estos se comparten con otra línea de producción.
- **Pruebas manuales:** Se observó que las pruebas de funcionamiento se realizaban manualmente. Estas pruebas tienen el potencial de ser automatizadas y así minimizar el tiempo de prueba.



**Figura 1**  
Conexión entre semiconductores



**Figura 2**  
Grietas en Semiconductores



**Figura 3**  
Oxidación en semiconductores

### Sugerencias de Posibles Soluciones

Luego de haber identificado los problemas, el siguiente paso fue proveer sugerencias para resolver los mismo. Estas sugerencias fueron las siguientes:

- **Añadir punto de inspección después del proceso de interconexión entre conductores:** Para resolver el problema de este proceso, se sugirió añadir al proceso una inspección luego de culminado el mismo, para así confirmar que estas interconexiones estén completas y en la posición correcta. En este caso, realizar la inspección puede tomar 1 hora. Mientras que el no tener la inspección puede tomar varios días.
- **Añadir punto de inspección después de instalar componentes electrónicos:** Para resolver el problema de los componentes instalados con daños físicos, se propuso añadir una inspección antes de instalar los componentes. Esta inspección tomaría menos

de 5 minutos por componentes. Esto evitaría semanas perdidas antes de encontrar el problema durante pruebas de funcionamiento. Siempre se ha asumido que los componentes están en óptimas condiciones cuando se sacan de su empaque, pero la realidad es que durante la entrega o almacenamiento pueden ocurrir daños.

- **Crear un documento que permita compartir el equipo o adquirir equipo nuevo:** Para resolver el problema del equipo de prueba compartido, se sugirió crear un documento para poder reportar y documentar la necesidad del equipo por ambas partes. Otra sugerencia fue no utilizar este equipo, y utilizar otro equipo (PXA) que no solo eliminaría este problema, si no que minimizaría el tiempo de prueba por las características de este.
- **Automatizar pruebas usando Matlab:** Para resolver el problema de las pruebas realizadas manualmente, se sugirió crear un programa en Matlab para poder automatizarlas y realizar las pruebas en menos tiempo.

### Selección de la Mejor Solución

Para el problema del equipo de prueba compartido, dos posibles soluciones fueron ofrecidas. La sugerencia de adquirir un nuevo equipo fue la seleccionada por el siguiente análisis.

El costo del equipo de prueba actual (PSA E4448A) es una renta de \$2599 mensuales. El costo del equipo nuevo (PXA N9030B) es \$69,000. El contrato con el Departamento de Defensa es de 10 años, por lo que hace sentido comprar el nuevo PXA. Además, este equipo tiene un mejor rango dinámico, la cual es una característica importante cuando se hacen las pruebas de señales no deseadas en circuitos de transmisión y el cual permitirá minimizar el tiempo de prueba. En adición, no se tiene que coordinar, ni esperar por la disponibilidad del equipo.

## RESULTADOS

Las soluciones fueron implementadas y se observaron las actividades de producción con el propósito de determinar si estos cambios presentaron mejoras en la producción de los módulos.

Se añadieron dos puntos de inspección al proceso de producción. El primero se añadió antes de instalar los componentes a los paquetes. Luego de la implementación, se pudieron encontrar varios componentes dañados; estos fueron descartados y no instalados en los módulos.

El segundo punto de inspección se añadió justo después de realizar las interconexiones de semiconductores. Se observó que la inspección evitó que varios componentes siguieran al próximo paso sin sus interconexiones entre semiconductores correspondientes. La Figura 4 muestra la cantidad de unidades que fueron reparadas por problemas con los componentes defectuosos y por problema de interconexiones. Se puede observar una mejoría entre el sistema 1 (no inspección) y este proyecto de optimización.

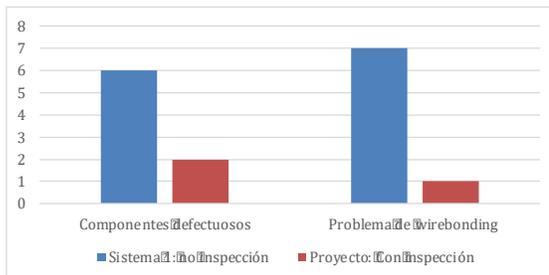


Figura 4

Cantidad de unidades reparadas: Sistema 1 vs proyecto de optimización

Las pruebas de funcionamiento manuales fueron automatizadas utilizando Matlab. Estas pruebas tomaban 8 horas por módulo, si no se encuentra ningún problema con la unidad. Este programa de Matlab permitió reducir el tiempo de prueba a 4 horas. Además, es importante mencionar que la adquisición del equipo PXA N9030B, el cual se utiliza para realizar pruebas de Señales no deseadas, redujo el tiempo 40 min adicionales. Por lo que el nuevo tiempo de prueba es de 3h 20min

por unidad. La Figura 5 muestra una reducción del tiempo de prueba después de implementar Matlab y el PXA.

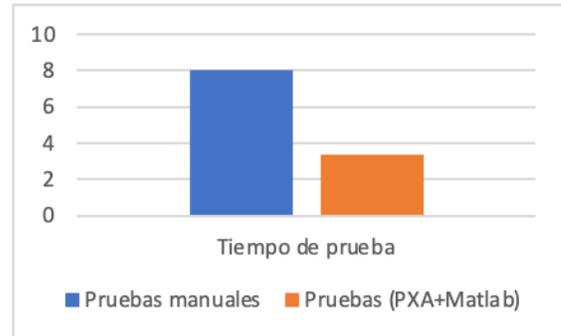


Figure 5

Tiempo de prueba (horas): Pruebas manuales vs Pruebas después de mejoras (PXA+ Matlab)

## CONCLUSIÓN

La implementación de los dos puntos de inspección tiene un tiempo añadido a las actividades de operación. La inspección de componentes añadió 1.75h por unidad, mientras que la inspección de interconexión entre semiconductores añadió 1.05h por unidad. Los detalles de este cálculo se encuentran en la Tabla 1. El total de tiempo añadido para 12 unidades es de 4.2 días.

Este proyecto logró disminuir el tiempo total de reparación de las unidades. En el sistema 1 tomó 44.6 días la reparación de todas las unidades. Luego de la implementación de las mejoras, el tiempo de prueba fue de 12.8 días. Hubo una disminución de 32 días. Se pueden observar los detalles en la Tabla 2.

El tiempo total de pruebas también mostró mejoría. En el sistema 1 tomó un total de 36 días realizar las pruebas de todas las unidades, mientras que con este proyecto de optimización hay una reducción de 21 días. Los detalles se muestran en la Tabla 3.

La suma del tiempo de pruebas de funcionamiento y el tiempo de reparación antes de realizar este proyecto era de 81 días. La suma del tiempo de pruebas con el tiempo de reparación más el tiempo de inspección es de 32 días. Se observa

una disminución de 49 días en el tiempo total de la producción.

**Tabla 1**  
**Tiempo total de inspecciones añadidas**

Inspección de:	Componentes	Wirebonding
Componentes por unidad	21	21
Tiempo de inspección por componente (min)	5	3
Tiempo de inspección por unidad (min)	105	63
Tiempo de inspección por unidad (horas)	1.75	1.05
Tiempo de inspección 12 unidades (horas)	21	12.6
Tiempo de inspección 12 unidades (días)	2.625	1.575
Total (días)	4.2	

**Tabla 2**  
**Tiempo total de reparación antes y después de la implementación de mejoras**

Tiempo en reparación:	Antes	Después de mejoras
Tiempo de Troubleshooting (horas)	3	
Tiempo de Reparación (horas)	8	
Tiempo de operación perdido (1 week)	40	
Tiempo Total	51	
Unidades en reparación	7	2
Tiempo de reparación total (horas)	357	102
Tiempo de reparación total (días)	44.625	12.75
Diferencia (días)	32	

**Tabla 3**  
**Tiempo total de pruebas de funcionamientos antes y después de la implementación de mejoras**

Pruebas de Funcionamiento:	Antes	Después de mejoras
Tiempo de pruebas por unidad (horas)	8	3.33
Tiempo de pruebas por unidad x 3 etapas de prueba (horas)	24	9.99
Tiempo de prueba 12 unidades (horas)	288	119.88
Tiempo de prueba 12 unidades (días)	36	15
Diferencia (días)	21	

Estos cambios impactaron positivamente al presupuesto anual del proyecto. Si las actividades de producción continuaban sin ningún cambio, el presupuesto llegaría a \$1.217 millones, de esta forma sobrepasando el presupuesto de \$1 millón anual. Eliminando el salario del ingeniero senior de pruebas y añadiendo el salario de los técnicos que realizan las inspecciones, hubo una disminución \$90 mil. Al minimizar la producción de las unidades aproximadamente un mes por sistema, disminuyó el costo total por unidad. Todo esto logrando un presupuesto anual de \$973,400, el cual está debajo del presupuesto acordado, según mostrado en la Tabla 4.

**Tabla 4**  
**Presupuesto anual antes y después de las mejoras.**

Presupuesto Anual	Antes	Después de mejoras
Empleados tiempo completo	\$ 305,000.00	\$ 215,000.00
Costo por unidad	\$ 38,000.00	\$ 31,600.00
Costo 24 unidades( 2 sistemas)	\$ 912,000.00	\$ 758,400.00
Total	\$ 1,217,000.00	\$ 973,400.00
Diferencia	\$ 243,600.00	

Este proyecto pudo cumplir satisfactoriamente con los objetivos establecidos. Se espera cumplir con la fecha de entrega del segundo sistema, ya que las actividades de prueba y reparación disminuyeron 49 días. También se logra el segundo objetivo de cumplir con el presupuesto anual, ya que la implementación de las mejoras logró una disminución de \$243,600 anuales. De esta manera se asegura la retención del contrato y se mantiene la relación de negocios existente con el Departamento de Defensa.

## REFERENCIA

- [1] Steve Borrís. Strategic Lean Mapping: Blending Improvement Processes for the Perfect Solution. Finding Improvement Opportunities, Chapter (McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto, 2012). <https://ezproxy.pupr.edu:2053/content/book/9780071788557/chapter/chapter2>
- [2] Iravani, Seyed M. R. 2021. "Process-Flow Analysis Framework." Chap. 2.1 in *Operations Engineering and Management: Concepts, Analytics, and Principles for Improvement*. 1st ed. New York: McGraw Hill. <https://ezproxy.pupr.edu:2053/content/book/9781260461831/toc-chapter/chapter2/section/section3>
- [3] Hirai, Yoshinori. 2001. "CONTINUOUS IMPROVEMENT (KAIZEN)." Chap. 30 in *Maynard's Industrial Engineering Handbook*. 5th ed., edited by Kjell B. Zandin. New York: McGRAW-HILL. <https://ezproxy.pupr.edu:2053/content/book/9780070411029/chapter/chapter30>
- [4] Poole, Laura. 2013. "Change Initiatives and Working with Employees." Chap. 8 in *Perfect Phrases for Coaching Employee Performance: Hundreds of Ready-to-Use Phrases for Building Employee Engagement and Creating Star Performers*. 1st ed. New York: McGraw-Hill Education. <https://ezproxy.pupr.edu:2053/content/book/9780071809511/chapter/chapter8>