

CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Proyecto de Ingeniería e Innovación
Proyecto de Aplicación

Metodología para la Automatización del Proceso de Barniz en Aerosol

Para obtener el grado de
Maestría en Ingeniería e Innovación
LGAC: Sistemas y Tecnologías de Información

Presenta

Adriana Amaro Espinoza

Director del Proyecto: Dr. Jesús Mora
Co-Director del Proyecto: Dr. Juan Terrazas
Asesor de la Industria: Ing. Carlos Alberto Juárez

Mexicali, Baja California a Marzo del 2019



CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Proyecto de Ingeniería e Innovación
Proyecto de Aplicación

Metodología para Automatización del Proceso de Barniz en Aerosol

Para obtener el grado de
Maestría en Ingeniería e Innovación
LGAC: Sistemas y Tecnologías de Información

Presenta

Adriana Amaro Espinoza

Director del Proyecto: Dr. Jesús Mora
Co-Director del Proyecto: Dr. Juan Terrazas
Asesor de la Industria: Ing. Carlos Alberto Juárez

Mexicali, Baja California a Marzo del 2019



CENTRO DE ENSEÑANZA TÉCNICA Y SUPERIOR



Colegio de Ingeniería
Dirección de Posgrado
Campus Mexicali

Proyecto de Ingeniería e Innovación

Proyecto de Aplicación

Metodología para Automatización del Proceso de Barniz en Aerosol

Para obtener el grado de

Maestría en Ingeniería e Innovación

LGAC: Sistemas y Tecnologías de Información

Presenta

Adriana Amaro Espinoza

Director del Proyecto: Dr. Jesús Mora

Co-Director del Proyecto: Dr. Juan Terrazas

Asesor de la Industria: Ing. Carlos Alberto Juárez

Comité Evaluador:

Dr. Jesús Mora

Dr. Carlos A. Solorio

Dr. Miguel Salinas

Mexicali, Baja California a Marzo del 2019



AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Aprovecho esta sección para compartir mi profundo agradecimiento a la empresa EEMSA y a CONACYT Industria que me permitieron lograr una de mis metas como profesionista al ampliar mis conocimientos y habilidades dentro del ámbito de la Ingeniería por medio de la maestría.

También agradezco a mi familia, la cual siempre me ha fomentado a superarme a mí misma tanto en el ámbito laboral como personal.

Gracias a mis colegas dentro de la empresa que me ofrecieron su experiencia y consejos durante el desarrollo del proyecto y por supuesto no pueden faltar mis asesores, Ing. Carlos Juárez y Dr. Jesús Mora, los que me ayudaron a desarrollar e implementar mi proyecto exitosamente.

Finalmente, quiero dedicar mi trabajo a los barnizadores de la empresa EEMSA, ya que la implementación de este sistema automático se realizó en primer lugar para hacer su trabajo más fácil.



Mexicali, Baja California a 23 de Marzo del 2019.

A quien corresponda:

Por medio de la presente hago constar que el proyecto ***“Metodología para la Automatización del Proceso de Barniz en Aerosol”*** será desarrollado por la ingeniero **Adriana Amaro Espinoza**.

Este proyecto es considerado de relevancia para la empresa y está alineado con los objetivos de la celda de producción en la que se desempeña como Ingeniero de Procesos.

Sin más por el momento agradezco de antemano su atención y nos ponemos a sus órdenes para cualquier información adicional.

Atentamente

Ing. Carlos Juárez Corral

Gerente de Ingeniería

INDICE

1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. Collins Aerospace.....	1
1.1.2. Proceso de Barniz	4
1.1.3. Migración de Proceso de Brocha a Aerosol.....	5
1.1.4. Transición Aerosol Manual a Automático	7
1.2. Justificación.....	8
1.3. Planteamiento del Problema	8
1.4. Pregunta de Investigación.....	8
1.5. Objetivo General	9
1.6. Hipótesis	10
1.7. Casos Similares	10
1.7.1. Caso Welco GmbH & Co. (Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016).....	10
1.7.2. Caso J. Delschen (Bertelt y Stumpf, 2015).....	11
1.7.3. Caso ASS, Alu-Schaltschränke (J. Wagner AG, 2012)	11
1.7.4. Caso de un Manufacturador de Dispositivos Médicos (PVA, 2010)	12
1.7.5. Caso de Bonfiglioli S.p.A (Gijbels, 2018).....	13
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	15
2.1. Conceptos Básicos	15
2.2. Barniz (Conformal Coating).....	15
2.3. Requerimientos de Calidad de Collins Aerospace y otros conceptos	16
2.4. Métodos de Aplicación de Barniz	17
2.5. Opciones en el Mercado	21
3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	25
3.1. Análisis del Proceso Actual.....	25
3.1.1. Modelo del Proceso, sus Variables e Indicadores	25
3.1.2. Recolección de Datos.....	27
3.2. Elección de Equipos.....	28
3.3. Implementación de Equipo Automatizado.....	29
3.1.3. Validación de Subprocesos	29
3.1.4. Validación del Proceso Completo.....	30

4. CAPITULO IV: RESULTADOS	31
4.1. Resultados de Análisis del Proceso	31
4.1.1. Proceso de Barniz en Aerosol	31
4.1.2. Definición de Variables e Indicadores del Proceso en Aerosol.....	33
4.1.3. Recolección de Datos de Variables	34
4.2. Elección de Equipos.....	35
4.2.1. Definición de Parámetros del Proceso	35
4.2.2. Automatización de Subprocesos	36
4.3. Resultados de la Implementación del Proceso Automatizado.....	44
4.3.1. Validación de los Equipos.....	44
4.3.2. Disminución de Defectos y Aumento de Producción	46
5. Capítulo V: Discusión, Conclusiones y Recomendaciones.....	48
5.1. Conclusiones.....	48
5.2. Problemas del Nuevo Sistema Implementado	48
5.3. Oportunidad de Mejora en la Metodología	48
5.4. Oportunidades de Mejora en el Nuevo Proceso.....	49
5.4.1. Ampliación de Sistema de Barniz Automático	49
5.4.2. Recomendaciones	50
REFERENCIAS.....	51

Lista de Figuras

Figura 1 Manufactura de un Ensamble Electrónico.....	2
Figura 2 Proceso de Planta Mexicali	3
Figura 3 Métodos de Aplicación de Barniz Acrílico	4
Figura 4 Gráfica de Cantidad de Defectos por Mes en el Área de Barniz	6
Figura 6 PVA 2000	13
Figura 7 Método de Brocha.....	18
Figura 8 Método de Inmersión	18
Figura 11 Ola de Barniz	21
Figura 12 Ejemplo de una Máquina de Nordson	22
Figura 13 Máquina de Recubrimiento Caso ASS	22
Figura 14 Ejemplo de una Máquina de SCS	23

Figura 15 Ejemplo del Interior de una Cámara de PVA	24
Figura 16 Ejemplo de un Modelo de Proceso de Barniz en Brocha, mostrando entradas y salidas	26
Figura 17 Modelo de Proceso de Aerosol Manual	31
Figura 18 Pruebas de Dymax contra Cinta Adhesiva.....	36
Figura 19 Plotter.....	37
Figura 21 Nuevo Modelo del Subproceso de Cubrimiento de Áreas Libres de Barniz..	38
Figura 22 PVA Delta 8.....	39
Figura 23 SCS Precision CoatV	39
Figura 24 Sistema de Aplicación Automática de Barniz en Aerosol.....	41
Figura 25 PVA Queue	42
Figura 26 Simplimatic Edge Belt Conveyor Modelo 3011	42
Figura 27 PVA BI2000.....	43
Figura 28 Board Inverter Modelo 3050.....	43
Figura 29 Punta en Cupón	44
Figura 30 Prueba de Cupones	45
Figura 31 Gráfica de Defectos vs Tableros Barnizados con Sistema Automático.....	46
Figura 32 Comparación de Tiempos Promedio del Subproceso de Cubrimiento	47
Figura 33 Comparación de Tiempos Promedio del Subproceso de Retoque.....	47
Figura 34 Modelo Completo de Sistema Automático de Barniz en Aerosol	49

Lista de Tablas

Tabla 1 Tiempo Labor del Operador por Método de Aplicación	7
Tabla 2 Tipos de Barniz según el IPC-CC-830B	16
Tabla 3 Métodos de Curado.....	17
Tabla 4 Clasificación de Boquillas de Tecnología de Dry Spray	19
Tabla 5 Parámetros Comunes de Máquinas de <i>Selective Coating</i>	24
Tabla 7 Visualización de Variables por Subproceso	28
Tabla 8 Formato en blanco para realizar la comparación de equipos	28
Tabla 9 Análisis de Implementación.....	30
Tabla 10 Modelo de Proceso de Barniz en Aerosol mostrando entradas y salidas.....	33

Tabla 11 Variables e Indicadores de los Subprocesos de Barniz en Aerosol	34
Tabla 13 Visualización de Variables de Subproceso de Cubrimiento	35
Tabla 14 Visualización de Variables de Subproceso de <i>Manual Spray</i>	35
Tabla 15 Comparación de Equipos de <i>Selective Spray</i>	40
Tabla 16 Visualización de Variables de <i>Conveyor</i>	41
Tabla 17 Visualización de Variables de Inversor	41
Tabla 18 Comparación de Conveyors	42
Tabla 19 Comparación de Inversores	43
Tabla 20 Resultados de Implementación de Sistema Automatizado	45

LISTA DE ABREVIATURAS

PTH: Plated Thru Hole

SMT: Surface Mount Technology

ESD: Electrostatic Discharge

RESUMEN

El método de aplicación de barniz en aerosol produce una capa uniforme rápida de aplicar y más estética que la aplicación por brocha, por lo que facilita el trabajo del operador a solo obligarlo a retocar cerca de las áreas que fueron cubiertas previamente con cinta adhesiva para evitar que se barnizaran.

Debido a la alta demanda de tableros barnizados, Collins Aerospace planta Mexicali definió el método de aerosol automático, *autospray*, como el método preferido de aplicación para el proceso de barniz con la finalidad de disminuir defectos y aumentar la producción.

Esto conlleva al análisis del proceso manual en aerosol, definición de requerimientos a replicar por medio de máquinas y la selección de dichos equipos que permitan automatizar completa o parcialmente el proceso, dando como resultado la metodología presentada en este proyecto.

1. CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

1.1.1. Collins Aerospace

Collins Aerospace es el producto de la fusión de dos grandes industrias aeroespaciales: UTC y Rockwell Collins, y se dedica al diseño, fabricación y servicio de sistemas y componentes para aviones comerciales, regionales, de negocios y militares, así como helicópteros y otras plataformas. *Collins Aerospace* es también un importante proveedor de programas espaciales internacionales.

Se encuentra estructurado en 7 áreas principales:

- *Commercial Aviation* Sistemas Aeroespaciales, Sistemas de Interiores (interfaces y controles) y Servicios de Gestión de Información para Aviones Comerciales.
- *Business Aviation* Sistemas Aeroespaciales, Sistemas de Interiores (interfaces y controles) y Servicios de Gestión de Información para Aviones Privados o de Negocios (*Jets*).
- *Military & Defence* Sistemas Aeroespaciales, Sistemas de Interiores (interfaces y controles) y Servicios de Gestión de Información para Aviones Militares y de Gobierno.
- *Helicopter* Sistemas Aeroespaciales, Sistemas de Interiores (interfaces y controles) y Servicios de Gestión de Información para Helicópteros Comerciales y Militares.
- *Space* Componentes para Sistemas para Programas Espaciales.
- *Airports* Sistemas de Integración para Aeropuertos.
- *Other Industries* Sistemas de Comunicación Variados.

Collins Aerospace cuenta con alrededor de 300 plantas alrededor del mundo y cada planta está especializada en un producto o proceso en específico, dependiendo del personal y regulaciones del país. Dentro de México, la planta se ubica en Mexicali, B.C y se le conoce localmente como EEMSA (Ensambladores Electrónicos de México S.A), la cual pertenece a la división de *Commercial Aviation*, y se dedica principalmente a la manufactura de tableros electrónicos.

Debido a que las plantas se especializan en procesos específicos, es natural que un ensamble de *Collins Aerospace* se manufacture en varias plantas. En el caso de la planta de Mexicali, los procesos que se llevan a cabo son mayormente manuales con poca interferencia de máquinas.

La Figura 1 describe el flujo de procesos entre las plantas de Coralville, Mexicali y Cedar Rapids.

Planta de Coralville: Instala todos los componentes SMT. Proceso totalmente automatizado.

Planta de Mexicali: Instala todos los componentes PTH, aplica adhesivos y barniz. Realiza pruebas eléctricas preliminares. El ensamble en este punto se encuentra casi terminado.

Planta de Cedar Rapids: Cierra la unidad. Realiza prueba eléctrica final y envía al cliente.

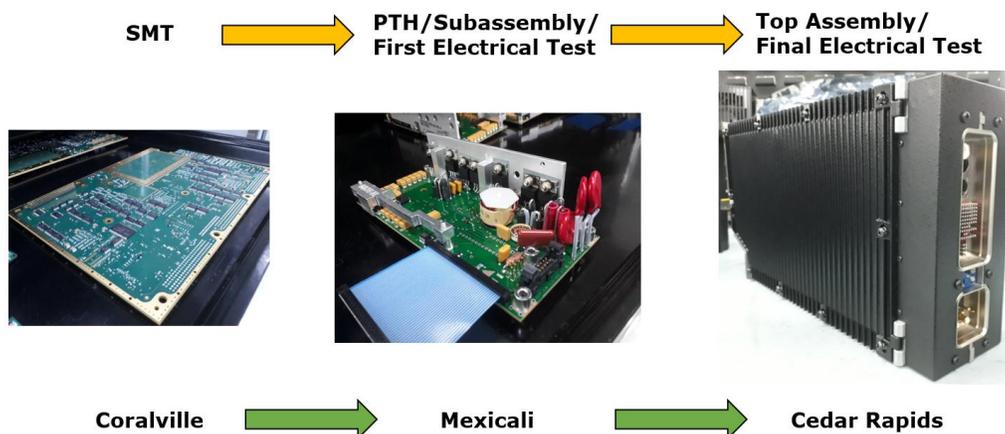


Figura 1 Manufactura de un Ensamble Electrónico
Fuente: Elaboración propia

Este proyecto se realizará en la planta de Mexicali, donde se concentran los procesos manuales. La Figura 2 representa el flujo del proceso general para la elaboración de un tablero electrónico que se lleva a cabo en esta planta, el cual consiste en 9 subprocesos.

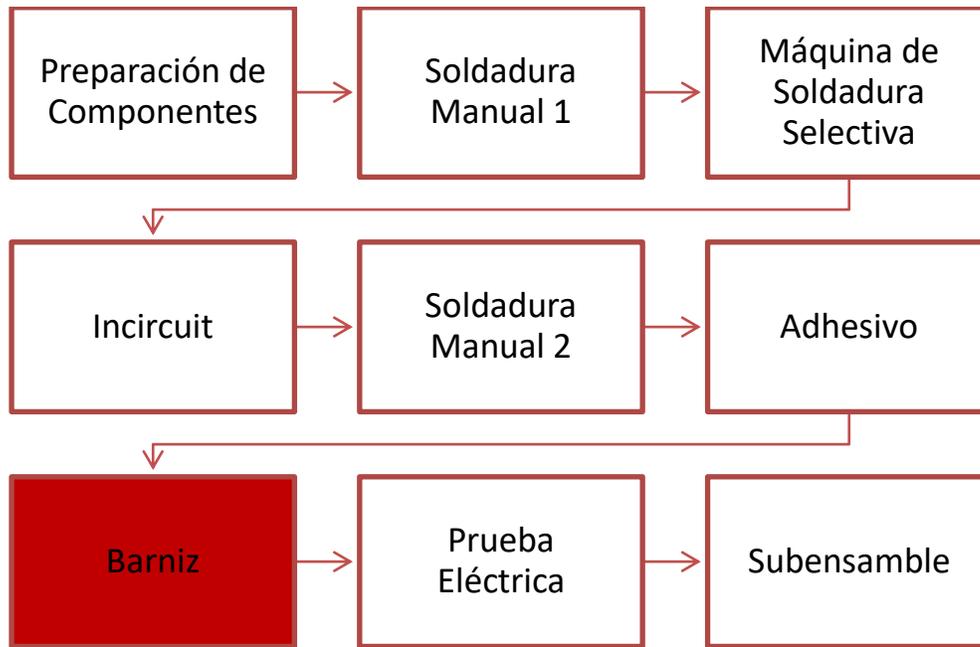


Figura 2 Proceso de Planta Mexicali
Fuente: Elaboración propia

Preparación de Componentes: Se cortan y doblan terminales de componentes para adecuarlos al diseño del tablero.

Soldadura Manual 1: Instalan componentes PTH y los fijan con puntos de soldadura.

Máquina de Soldadura Selectiva: Componentes instalados en Soldadura Manual 1 son soldados por la máquina de soldadura selectiva.

Incircuit: Prueba Eléctrica donde se miden continuidades.

Soldadura Manual 2: Se instalan componentes PTH y SMT que no pueden ser soldados por la máquina selectiva debido a que pueden causar daños en los tableros.

Adhesivo: Se aplica adhesivos a ciertos componentes previamente soldados para asegurar su fijación en el tablero.

Barniz: Ensamble es cubierto por barniz acrílico para protección.

Prueba Eléctrica: Verificación de los requerimientos de diseño basado en el desempeño del ensamble (estímulo y respuesta).

Subensamble: Instalación de tornillería. Instalación de uno o más tableros en el *chassis*.

1.1.2. Proceso de Barniz

El proyecto se enfoca en el proceso de barniz, el cual consiste en cubrir los tableros electrónicos con un revestimiento protector. *Collins Aerospace Mexicali* utiliza 3 tipos de barnices como revestimientos protectores:

- Acrílico: Barniz estándar para protección contra la humedad y la contaminación.
- Uretano: Barniz obsoleto, solo se utiliza en ensambles en proceso de discontinuarse.
- Silicón: Barniz utilizado para alta protección contra humedad.

El Barniz Acrílico es el enfoque de este proyecto, debido a que es él se utiliza para los ensambles de alto volumen. En la planta de Mexicali, este tipo de barniz se aplica por los 2 métodos descritos a continuación (Figura 3):

- Brocha/Jeringa: Aplicación utilizando brocha y/o jeringa (manual o neumática)
- *Manual Spray*: Aplicación utilizando una pistola atomizadora



Brocha/Jeringa



Manual Spray

Figura 3 Métodos de Aplicación de Barniz Acrílico
Fuente: *Elaboración propia*

La planta de Mexicali utiliza el método de brocha como el proceso estándar, pero si existen cierta cantidad de ensambles que son barnizados por métodos de aerosol.

Anteriormente, la planta Mexicali contaba con un área de Barniz reducida, ya que el único programa que manejaba dicho proceso (específicamente de barniz acrílico) era de bajo volumen, sin embargo, en Noviembre de 2017, la planta de Mexicali comenzó la transición de 2 programas de manufactura provenientes de la planta de Decorah, Iowa y uno proveniente de la planta de Melbourne, Florida. Dicho movimiento, significó aumentar los recursos del área de Barniz, tanto en espacio como en personal. Al finalizar la incorporación de los 3 programas nuevos, el área de Barniz deberá ser capaz de barnizar 223 números de parte.

1.1.3. Migración de Proceso de Brocha a Aerosol

El primer programa que fue transferido a Mexicali (Noviembre 2017) tiene una demanda de 100 tableros electrónicos barnizados diarios, sin embargo, el proceso de barniz no logró cumplir las expectativas, ya que solo lograba entregar de 55 a 80 tableros barnizados al siguiente proceso del flujo de producción, de los cuales más del 50% eran rechazados en Inspección por defectos de calidad y eran devueltos a Barniz para ser retrabajados, lo cual a su vez provocaba que los operadores no pudieran enfocarse en barnizar tableros nuevos. Sin mencionar, que aún faltaban (en ese momento) otros 2 programas por transferir.

En un inicio, se logró identificar 2 causas principales por las cuales los tableros eran detenidos en Barniz:

- Método de Brocha es lento
- Operadores generan muchos defectos

Debido a que la política de calidad de *Collins Aerospace* es dar prioridad a la calidad, se realizó un análisis para reducir la cantidad de defectos, durante el cual se identificaron las siguientes causas raíz:

- Personal de barniz no capacitado en el proceso
- Personal de inspección no capacitado en el proceso
- Tableros provenientes de soldadura no se encontraban lo suficientemente limpios para ser barnizados.

Al ser identificadas las causas más importantes, se implementaron las siguientes mejoras al proceso:

- Entrenamiento de barniz a operadores

- Introducción de nuevas herramientas al proceso
 - Dispensador neumático
 - Diferentes tamaños y tipos de brochas
 - Ayudas Visuales más explícitas
- Alineamiento de criterios de calidad de barniz de barnizadores e inspectores
- Entrenamiento de limpieza de tableros a operadores de soldadura
- Alineamiento de criterios de calidad de limpieza a operadores e inspectores
 - Mentoreo a barnizadores

Al implementar las mejoras al proceso, la cantidad de defectos por tablero disminuyó, pero no se redujeron los tableros rechazados por Calidad, es decir, solo se logró reducir el tiempo de retrabajo, ya que los defectos eran fáciles de corregir. El área fue capaz aumentar su demanda al poco tiempo (80 a 100 tableros diarios), sin embargo, debido a que aún se rechazaban más del 50% de los tableros por detalles de calidad, el problema no estaba resuelto.

La gráfica mostrada en la Figura 4, presenta el registro de defectos en los primeros 7 meses de la transferencia de los programas.

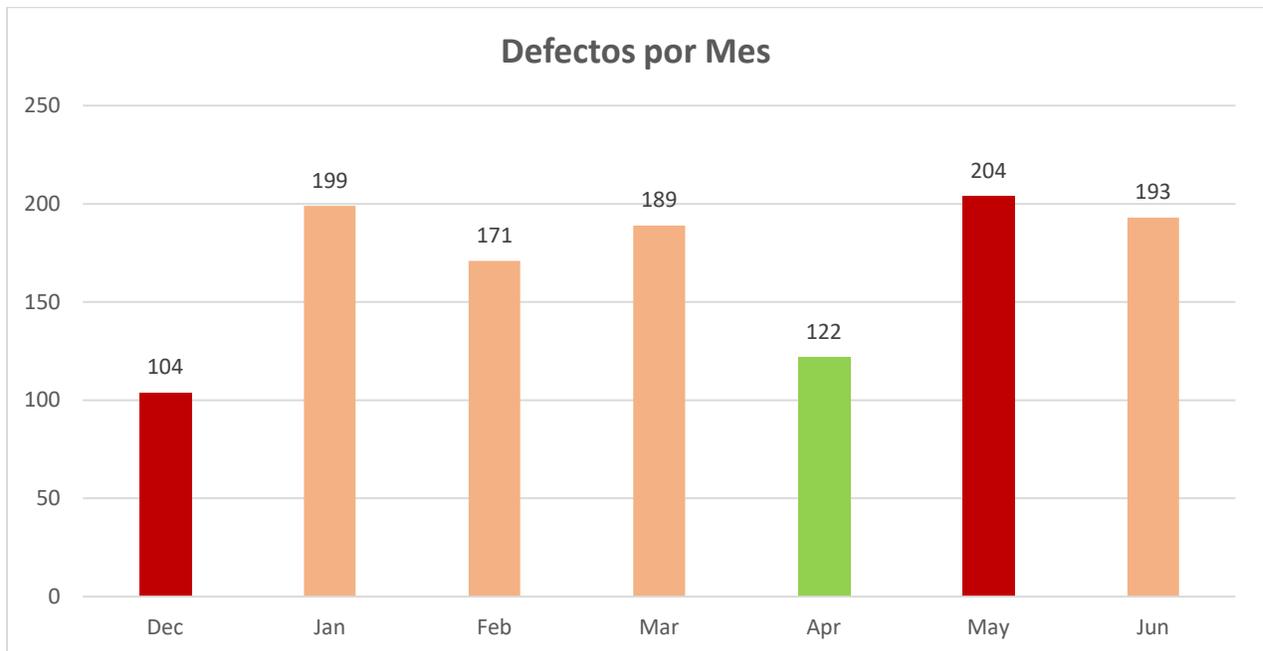


Figura 4 Gráfica de Cantidad de Defectos por Mes en el Área de Barniz
Fuente: Elaboración propia

En el mes de Noviembre 2017 no existen datos porque los tableros electrónicos simplemente no salían del área de Barniz. Fue hasta Diciembre que los operadores obtuvieron la suficiente práctica para que el tablero fuera barnizado sin necesidad de retrabajos mayores dentro del área (reemplazo de componentes debido a inundación de barniz).

Debido a que el problema no mejoraba conforme se integraban más números de parte al área, se decidió experimentar con uno de los tableros que se barnizaban en más tiempo y era de mayor volumen. En Abril del 2018 se migró a barniz en aerosol un ensamble que tardaba aproximadamente 5 horas en barnizarse con brocha. El tiempo labor del operador se redujo a 2.7 horas, casi el 50% menos. La Tabla 1 a continuación muestra la comparación en tiempos de labor de operador de ambos métodos en el mismo ensamble.

Tabla 1 Tiempo Labor del Operador por Método de Aplicación
Fuente: Elaboración propia

Muestra	Método de Aplicación	Tiempo Labor Operador
1	Brocha	4.5 horas
2	Aerosol	2.7 horas

A partir de estos resultados, se inició la evaluación de ambos métodos de aplicación (brocha y aerosol) para determinar cuál debería ser el proceso estándar en Mexicali.

Los resultados de la evaluación, demostraron que los pocos ensambles que se barnizaban en aerosol eran los que tenían menos defectos, por lo que se decidió migrar todos los ensambles posibles al método de aerosol.

1.1.4. Transición Aerosol Manual a Automático

Una vez comenzado el proyecto de migración del proceso de brocha a aerosol, se notaron las siguientes desventajas en el proceso de *Manual Spray*:

- Proceso de cubrimiento de componentes que deben permanecer libres de barniz consumía mucho tiempo labor del operador.
- La pistola de barniz es controlada por el operador, por lo que el tiempo labor en la aplicación no era constante.

Debido a lo anterior, a pesar de que el nuevo método preferido de aplicación reducía de forma significativa los defectos, todavía no se lograba cumplir la demanda si no se incorporaban mejoras en el proceso de aerosol.

1.2. Justificación

Dentro de la aplicación de barniz en aerosol, existen 2 métodos: manual y automático. Ambos métodos generan la misma capa uniforme, sin embargo, el método automático es por medio de una máquina, lo cual permite liberar tiempo labor del operador. Definiendo que el método de aplicación automático de barniz en aerosol como el más eficiente y adecuado para el proceso actual debido a que genera menor cantidad de defectos y emplea menos tiempo labor del operador, se tomó la decisión de migrar todos los ensambles posibles a este método.

Además de sustituir la pistola de barniz por un equipo automático, también es necesario analizar e implementar mejoras en los otros subprocesos de la aplicación en aerosol, principalmente el Cubrimiento.

Este proyecto, consiste en la búsqueda, comparación e implementación de equipos o herramientas que permitan automatizar, al menos parcialmente el proceso de barniz en aerosol, lo que permitirá que se logre cumplir la demanda de tableros barnizados para el resto de la planta debido a que disminuirá los defectos y el tiempo labor del ensamble.

1.3. Planteamiento del Problema

Enunciado del Problema

El proceso actual de aplicación de barniz en aerosol es estrictamente manual, lo cual consume tiempo labor del operador y presenta un riesgo en el cumplimiento de la demanda de producción, por lo tanto, es necesario realizar la búsqueda e implementación de equipo y herramientas que permitan automatizar dicho proceso.

1.4. Pregunta de Investigación

De acuerdo al problema descrito anteriormente, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo implementar un proceso parcialmente automatizado que permita que el producto final cumpla con los requerimientos de calidad y a la vez reduzca el tiempo de ciclo de los ensambles?

La pregunta de investigación dirige a plantear la siguiente problemática.

- ¿Cuál es el flujo actual del proceso de barniz en aerosol?
- ¿Cuáles son los subprocesos que tienen oportunidad de automatizarse?
- ¿Cuáles son los estándares de calidad que deben cumplir los ensambles?
- ¿Cuáles son los parámetros o características de las máquinas o herramientas para cumplir el estándar de calidad?
- ¿Cuáles equipos se deben introducir al proceso para automatizarlo?
- ¿Cómo se operan los equipos que automatizan parcialmente el proceso?
- ¿Cómo comprobar la calidad de los ensambles barnizados utilizando las nuevas máquinas o herramientas?
- ¿En qué medida el proceso parcialmente automatizado es capaz de cumplir la demanda de los nuevos tableros migrados a aerosol automático?

1.5. Objetivo General

Implementar un sistema parcialmente automatizado de barniz en aerosol para reducir la intervención del operador en el proceso y aumentar el número de ensambles barnizados.

Objetivos Específicos

- Analizar modelo actual del proceso e identificar los subprocesos donde es posible reemplazar completamente o parcialmente al operador por una máquina.
- Definir los parámetros o características clave que los nuevos equipos deben cumplir.
- Comparar diferentes equipos automatizados disponibles en el mercado que apliquen material en aerosol y definir el equipo adecuado a las necesidades de producción.
- Definir método de validación de las nuevas máquinas.

1.6. Hipótesis

La implementación de un sistema parcialmente automatizado de barniz en aerosol reducirá el tiempo de ciclo del proceso y cantidad de defectos de los ensambles.

1.7. Casos Similares

En la revisión de literatura, se encontraron los siguientes casos similares al proyecto descrito en este documento.

1.7.1. Caso Welco GmbH & Co. (Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016)

El objetivo de Welco era alejarse del proceso de barniz manual de las piezas producidas en serie, específicamente de las motocicletas. Esto se debió a que los clientes de la compañía pedían una calidad de recubrimiento consistentemente alta y barnizadores experimentados eran cada vez más difíciles de encontrar. Además, el consumo de material en las cuatro cabinas de aerosol manual era muy alto.

El gran problema con el que se enfrentó, eran que la estructura de las partes no permitía simplemente automatizar la pistola presurizada que utilizaba el operador, por lo que una solución ya existente en el mercado no sería posible y se concluyó que el uso de robots era inevitable.

Welco realizó pruebas en el centro técnico de Nordson en Erkrath utilizando sistemas de fase densa HDLV (alta densidad, baja velocidad) que mostraron que esta tecnología de aplicación era la mejor opción debido al mayor grado de control del proceso y al menor consumo de polvo. Nordson fue seleccionado como el nuevo proveedor de campanas de barniz en base a los resultados favorables de las pruebas y la capacidad de desarrollar una solución personalizada. La máquina tenía que proporcionar la mayor libertad de movimiento posible para los robots, mientras se ajustaba a un área de solo 20 metros cuadrados en el edificio existente. Para lograr esto, Nordson trabajó con el fabricante de robots Stäubli para producir una simulación del diseño de la máquina. Desde finales de febrero, el sistema de barniz en aerosol automatizado ha estado funcionando en tres turnos completos. Las piezas se transportan a la máquina de aerosol mediante un transportador y se enmascaran si es necesario. La campana, el sistema de aplicación y los robots han demostrado ser altamente confiables. Dado el tamaño de la cabina y sus aberturas adicionales para los robots, el desafío de crear un flujo de aire laminar se ha superado con éxito.

1.7.2. Caso J. Delschen (Bertelt y Stumpf, 2015)

J. Delschen es un fabricante alemán de sobrrillas de jardín el cual su volumen de producción había aumentado significativamente en los últimos años y sus procesos manuales ya no eran apropiados. Además, el número y el peso de las bases individuales habían crecido demasiado (hasta 160 kg).

Venjakob (fabricante de maquinaria de tratamiento de superficies y depuración de aire) de Rheda-Wiedenbrück en Alemania recibió el contrato para diseñar y construir un taller de pintura completamente automático. El taller de pintura consiste en tres robots Kawasaki. Un robot (Kawasaki ZX300S) es responsable de mover las bases entre el área de almacenamiento, el taller de pintura, el horno de secado y el sistema de carga (un total de siete puntos de levantamiento y depósito) y otros dos (RS010N) se utilizan para barnizar las campanas de aerosol separadas. Los robots hicieron posible lograr tiempos de ciclo mucho más cortos que los especificados. El taller de pintura (Figura 5) está en funcionamiento desde principios de 2013, funciona sin problemas y cumple, y en algunos casos supera, las expectativas del cliente.



Figura 5 Taller de Pintura Caso Delschen

Fuente: doi <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s35724-015-0506-x>

1.7.3. Caso ASS, Alu-Schaltschränke (J. Wagner AG, 2012)

ASS, fabricante suizo de armarios eléctricos de aluminio, ha estado utilizando un sistema de recubrimiento manual desde la década de 1980. Hasta hace poco, esta era

una solución confiable para el recubrimiento de piezas, aunque generaba desperdicios debido a la aplicación del aerosol. La recuperación del polvo era posible, pero el proceso de limpieza era costoso y consumía mucho tiempo. A partir del aumento de los niveles de producción y la creciente variedad de colores hicieron que ASS invirtiera en un nuevo sistema de recubrimiento en polvo.

El nuevo sistema tiene cinco pistolas rociadoras automáticas colocadas verticalmente en cada lado, junto con un área de pre-recubrimiento manual. Con el fin de dar a los operadores un fácil acceso a las partes altas, el área de pre-recubrimiento estaba equipada con una plataforma elevadora. En el corazón del nuevo proceso se encuentra el nuevo sistema de logística de polvo (SuperCenter). Incluye el sistema de control central de la máquina, gestiona el proceso de cambio de color automático y documenta el consumo del material. La nueva máquina tiene una gran capacidad de reserva para adaptarse a futuros aumentos de producción y una variedad de colores aún mayor. ASS está bien equipado para enfrentar el futuro con su sistema cuidadosamente diseñado. El cambio de recubrimiento manual en modo de rociado a uno completamente automático ha sido todo un éxito.

1.7.4. Caso de un Manufacturador de Dispositivos Médicos (PVA, 2010)

Un barniz altamente solvente debe aplicarse uniformemente alrededor del perímetro exterior de un *stent* de nylon. Estos se construyen en mandriles de acero inoxidable para mantener su forma. El proceso de aerosol estándar era muy laborioso y no proporcionaba control ni consistencia. Un operador simplemente rociaba el *stent* mientras giraba el mandril, y no obtenía retroalimentación sobre el espesor del barniz. Además, dado que el *stent* era de forma redonda, se tenía que tener cuidado al asegurar que el barniz no fluyera de forma desigual o se saliera de la superficie de nailon.

Lo que se necesitaba era un sistema que pudiera automatizar el proceso, cubrir sistemáticamente los *stent*, controlar el volumen del fluido y proporcionar la flexibilidad para barnizar diferentes tamaños. Se determinó que el sistema de recubrimiento PVA2000 (Figura 6) era la clave. Dicha máquina se utilizó en un proceso de alimentación de material manualmente, donde se utilizaron dos espacios de transporte para permitir el procesamiento de una unidad mientras que el operador carga la

segunda. También se diseñó un programa de selección de códigos de barras para permitir que cualquier tamaño de *stent* se cargue en la superficie de trabajo. Los operadores cargarían programas simplemente escaneando un código de barras. Al automatizar el proceso, agregar monitoreo volumétrico y reducir el rol del operador, el cliente logró ahorros debido a un proceso más rápido y más eficiente. Los ahorros adicionales provinieron de la reducción del desperdicio de material.



Figura 6 PVA 2000

Fuente: <https://pva.net/stent-coating>

1.7.5. Caso de Bonfiglioli S.p.A (Gijbels, 2018)

Bonfiglioli S.p.A., fabricante cajas de cambios para vehículos automáticos, autos eléctricos y turbinas eólicas, solicitó la ayuda de Pieffeci S.p.A (empresa especializada en optimizar procesos de producción) para modernizar su actual proceso de barniz.

El barnizado de las cajas de cambios es un procedimiento complejo, no solo por el peso y la forma de los componentes, sino también porque el barniz debe aplicarse uniformemente en todas las áreas, especialmente, en las áreas con mayor riesgo de desgaste y corrosión.

El nuevo sistema de barniz consiste en cuatro campanas de aerosol que están separadas entre sí por un túnel de evaporación de solventes. El grosor del barniz de la caja de cambios debe estar entre 40 y 400 μm y se aplica entre una y cuatro capas.

Se instalaron robots barnizadores en las primeras tres campanas y el cuarto tiene un sistema de barniz en aerosol manual para lotes más pequeños, prototipos o trabajos de

reparación, si los resultados de una revisión visual de un componente no son satisfactorios.

Los dos beneficios principales de automatizar el proceso son la reducción en el uso de pintura y los cambios de color más rápidos. El desperdicio de pintura se ha reducido a la mitad y los cambios de color toman solo 43 segundos en lugar de 75. Dado el gran número de cambios necesarios cada día (alrededor de 40), los beneficios de tiempo y costo pronto se hicieron evidentes.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos Básicos

Tablero Electrónico: Tablero de plástico sobre el cual se montan e interconectan componentes electrónicos tales como resistencias, capacitores y circuitos integrados por medio de líneas conductoras con revestimiento metálico o laminado (Longley y Shain, 1985).

Libre de Adherencia (*Tack Free*): Condición del barniz en donde se encuentra seco al tacto (946-3878-002, 2018, p. 9).

Atomización: Es la transformación de los fluidos newtonianos o no newtonianos en gotitas líquidas de aerosol. La desintegración del líquido o las láminas en gotitas (proceso de atomización) se puede lograr mediante la energía cinética del propio líquido (atomizadores de presión), o por exposición a aire o gas de alta velocidad (atomizadores de aire asistido o de doble fluido), o aplicando energía mecánica externa a través de un dispositivo giratorio (atomizadores rotativos) o vibradores (atomizadores ultrasónicos), o mediante el uso de carga electrostática (atomizadores electrostáticos) (Gemci y Chigier, 2016).

En Collins Aerospace, se define como la conversión de un líquido en *spray*. En este proceso, se mezcla un gran volumen de aire con una corriente de fluido de recubrimiento que produce una niebla de gotas de recubrimiento fino.

Curado: Estado en el que el barniz alcanza todas sus propiedades de material.

Eddy Current: La corriente inducida en una masa de material conductor por un campo magnético variable. También se llama Corriente de Foucault (Gooch, 2011).

2.2. Barniz (Conformal Coating)

De acuerdo al IPC-CC-830B (2002), se define *Conformal Coating* como un tipo de revestimiento protector para uso en tableros electrónicos. El *Conformal Coating* está destinado a proporcionar protección contra la humedad y la contaminación, además de proporcionar aislamiento eléctrico pero no como única fuente de soporte mecánico.

Collins Aerospace planta Mexicali utiliza la terminología "Barniz" indistintamente en lugar de *Conformal Coating*.

El Barniz puede ser de varios tipos, la clasificación que utiliza Collins Aerospace es la misma que está definida en el IPC-CC-830B (2002, p.1) y presentada en la tabla a continuación:

Tabla 2 Tipos de Barniz según el IPC-CC-830B
Fuente: Extraído a partir de IPC-CC-830B, 2002, P.1

Tipo	Material Base	Características
AR	Acrílico	Fácil de aplicar y retrabajar Poco resistente a altas temperaturas, abrasión y químicos
ER	Epóxico	Resistente a altas temperaturas, abrasión y químicos. Casi imposible de retrabajar
SR	Silicón	Resistente a altas temperaturas y vibraciones Difícil de retrabajar
UR	Poliuretano	Resistente a químicos y altas temperaturas
XY	Paraxileno	Resistente a altas temperaturas, abrasión y químicos. Aplicación mediante deposición al vacío

La planta Mexicali utiliza los tipos AR, SR y UR en el proceso de barniz, sin embargo, el problema planteado se enfoca únicamente en el barniz tipo AR (acrílico).

2.3. Requerimientos de Calidad de Collins Aerospace y otros conceptos

Antes de elegir un método de aplicación de barniz para el proceso, es crítico el evaluar los requerimientos de cobertura de los ensamblajes, tanto del dibujo de ingeniería como de los estándares de calidad. A continuación se definen los requerimientos clave que debe cumplir el proceso de barniz en Collins Aerospace.

Cobertura de Barniz en Ensamblajes según los Estándares de Collins Aerospace

Todas las superficies accesibles del PWB (Printed Wired Board/Tablero Electrónico), incluyendo los cuerpos y terminales de los componentes deberán estar cubiertas con barniz excepto las áreas indicadas por el manual de calidad, y cualquier componente o superficie identificada por el dibujo de ingeniería. (580-5458, 2018, p. 10)

Grosor de Barniz

El grosor del barniz debe encontrarse dentro del rango de .001 a .004 pulgadas y la capa debe ser uniforme, evitando burbujas y espacios sin barniz después de que se haya curado de acuerdo a la Tabla 3(580-5458, 2018, p. 9).

Tabla 3 Métodos de Curado
Fuente: Extraído a partir de 580-5458-001, 2018, P.8

	Equipo de Curado	Tiempo Mínimo de Secado a Temperatura Ambiente	Temperatura de Curado	Duración Mínima
Curado	Horno	30 minutos	50°C ±7°C	60 minutos
	Horno	30 minutos	77°C ±7°C	45 minutos
	IR	15 minutos	60°C ±7°C	20 minutos
	Temperatura Ambiente	24 horas	--	--

El instrumento de medición del grosor del barniz es el dispositivo PosiTector 6000 (Medidor de *Eddy Current*). El cual mide de forma no destructiva el espesor de los recubrimientos (barniz) no conductores sobre sustratos de metales no ferrosos. Una bobina de cable fino que conduce una corriente alterna de alta frecuencia (por encima de 1 MHz) se utiliza para configurar un campo magnético alterno en la superficie de la sonda del instrumento. Cuando la sonda se acerca a una superficie conductora, el campo magnético alterno creará corrientes de Foucault (*Eddy Current*) en la superficie. Las características del sustrato y la distancia de la sonda al sustrato (el espesor del recubrimiento) afectan la magnitud de las corrientes de Foucault. Las corrientes de Foucault crean su propio campo electromagnético opuesto que puede ser detectado por la bobina de excitación o por una segunda bobina adyacente (Beamish, 2019). El rango de grosor del barniz debe cumplirse independientemente del método de aplicación que se utilice.

2.4. Métodos de Aplicación de Barniz

Dentro de la industria, se utilizan diferentes métodos de aplicación de barniz. A continuación se describen los métodos que son comúnmente utilizados en la industria de los tableros electrónicos.

Aplicación Manual por Brocha

La aplicación se realiza por medio de brochas o jeringas, esto incluye a su vez, sistemas neumáticos, siempre y cuando sean manuales. Requiere más labor manual y depende fuertemente de la habilidad del operador que lo aplique (Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016).

Este método generalmente se reserva para producción de bajo volumen donde el barniz solo es marginalmente importante (Olson, 2015).

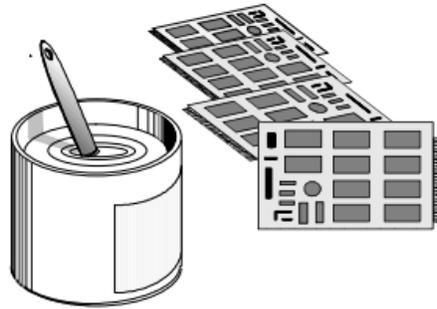


Figura 7 Método de Brocha

Fuente: https://scscoatings.com/wp-content/uploads/2015/09/alternatives_conformal_coating.pdf

Aplicación por Inmersión

El ensamble es sumergido completamente en un baño de barniz. Este método de aplicación logra barnizar tableros complejos y el grosor es controlado por la velocidad en la que se retira el ensamble del químico. Este método requiere cubrir cualquier área que deba ser libre de barniz antes del proceso (Hart, 2017).

La cobertura de barniz tiende a ser más gruesa en la parte inferior de los tableros debido al hundimiento, y el grosor promedio normalmente excede los parámetros requeridos de protección.

Este método de barnizado es apropiado para aplicaciones en los que se requiera cobertura completa del tablero, incluso debajo de los componentes, y/o en tableros electrónicos con requerimientos “simples” de cubrimiento de componentes libres de barniz (Olson, 2015).

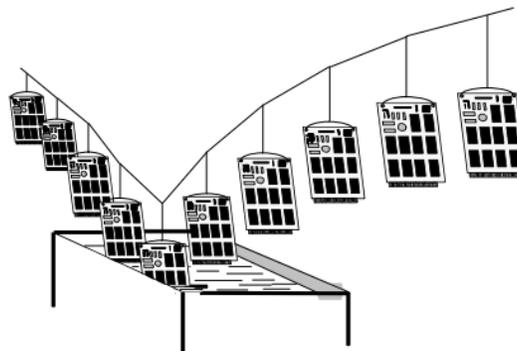


Figura 8 Método de Inmersión

Fuente: https://scscoatings.com/wp-content/uploads/2015/09/alternatives_conformal_coating.pdf

Aplicación por Aerosol

Este método generalmente es el preferido de las empresas, ya que su aplicación es rápida y la capa de barniz aplicada es uniforme y estética a la vista. (Hart, 2017)

A pesar de que este método ofrece una buena cobertura del ensamble y excelente uniformidad consumiendo menos material que la aplicación por inmersión, el aerosol no siempre es capaz de alcanzar las áreas debajo de componentes en espacios estrechos, es decir, es altamente afectado por el efecto sombra (Olson, 2015).

El Barniz en Aerosol es mayormente usado en aplicaciones de alto volumen donde se requiere más cubrimiento en los componentes libres de barniz que en el método de inmersión y donde el sistema de producción es en línea (Olson, 2015).

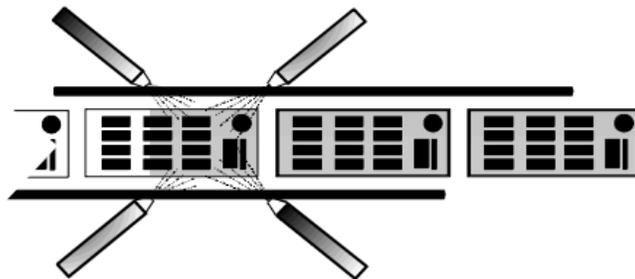


Figura 9 Método de Aerosol

Fuente: https://scscoatings.com/wp-content/uploads/2015/09/alternatives_conformal_coating.pdf

Dentro del método de aplicación de aerosol, existe la tecnología de Rocío Seco (*Dry Spray*), que se refiere a un medio continuo de extracción de sólidos secos de un fluido mediante la evaporación del líquido portador (Miller, Ellenberger y Gil, 2016). Esta tecnología consiste en un ajuste de parámetros de aerosol de tal manera que el barniz en el aire hace contacto con el sustrato con un mínimo de disolvente, disminuyendo el tiempo a una condición libre de adherencia (946-7787-002, 2018, p. 10).

La Tabla 4 muestra la clasificación de las boquillas que existen para la tecnología del *Dry Spray*.

Tabla 4 Clasificación de Boquillas de Tecnología de *Dry Spray*
Fuente: *Extraído a partir de Formulating Poorly Water Soluble Drugs p. 440*

Boquilla	Tipo de Energía utilizada para la atomización
Giratoria	Centrífuga
Dos Fluidos o Neumática	Cinética
Presión	Presión
Ultrasónica	Acústica

Aplicación Selectiva de Barniz por Aerosol

Este método se utiliza cuando solo se requiere barnizar ciertas partes del tablero y se desea evitar el tiempo de cubrimiento. La aplicación se realiza por medio de un robot que utiliza una boquilla ya sea para dispensar por medio de jeringa o aerosol a zonas seleccionadas. Se requiere mínimo cubrimiento en zonas adyacentes al área a barnizar (Hart, 2017). Estos sistemas tienden ser lentos los cual los hace inapropiados para producción de alto volumen (Olson, 2015).

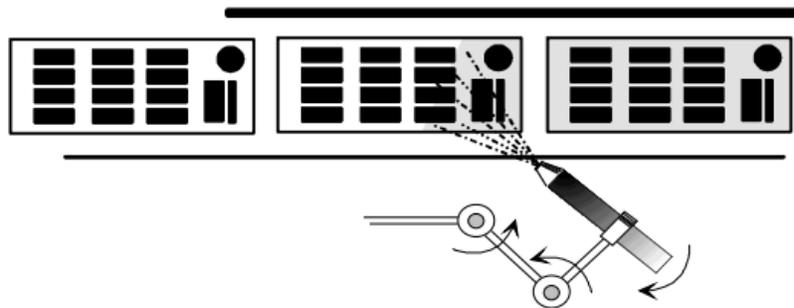


Figura 10 Aplicación Selectiva por Aerosol

Fuente: https://scscoatings.com/wp-content/uploads/2015/09/alternatives_conformal_coating.pdf

Select Jet Spray

Es un nuevo sistema de aplicación selectiva de barniz por aerosol desarrollada por SCS que utiliza un proceso análogo a la impresión por inyección de tinta. Este diseño de inyección de pulsos tiene múltiples emisores de barniz ordenados en una matriz, y estos emisores pueden activarse y desactivarse individualmente bajo control de una computadora para lograr una cobertura selectiva. Una de sus ventajas es que elimina el desperdicio generado por la aplicación de aerosol convencional pero al igual que toda aplicación por aerosol, su principal limitante es el efecto sombra que se pueda provocar de acuerdo al diseño del tablero (Olson, 2015).

Ola de Barniz

En este proceso, una ola de barniz (similar al proceso de ola de soldadura) es creada bombeando material líquido a través de una apertura y tableros invertidos son transportados a través de ella.

La ola de barniz es un proceso de un solo lado que solo se puede aplicar en el lado de no componentes de un tablero, por lo que únicamente es apropiado para aquellas

aplicaciones donde solo se requiera barnizar la parte inferior del tablero, o usar en combinación con el aerosol para poder barnizar ambos lados (Olson, 2015).

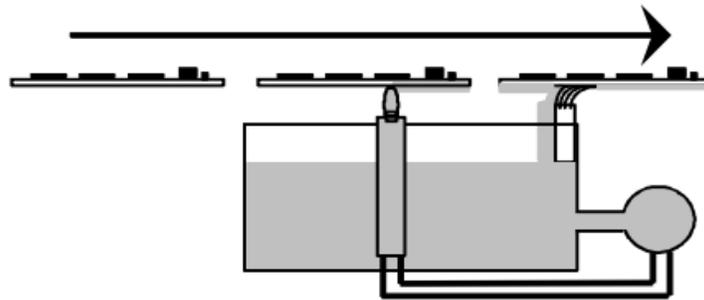


Figura 11 Ola de Barniz

Fuente: https://scscoatings.com/wp-content/uploads/2015/09/alternatives_conformal_coating.pdf

Deposición al Vacío

Este proceso está diseñado para barnizar tableros con Paraxileno. Los tableros son introducidos en la cámara donde un monómero gaseoso se polimeriza en todas las superficies para crear una capa sin agujeros, transparente y muy delgada. Este tipo de barnizado no requiere etapa de curado, no genera emisiones ni desperdicios (Olson, 2015).

2.5. Opciones en el Mercado

Comúnmente, los factores que impulsan al Ingeniero Industrial a elegir el método son cuestiones de presupuesto, volumen de ensambles y diversidad de tableros (si existe mayor diversidad de tableros, es más difícil estandarizar un proceso automático) (Hart, 2017). Y por supuesto, la calidad de los ensambles, que este factor es el que promueve todo el proyecto descrito en este documento.

Una vez elegido el método de aplicación a utilizar en el proceso, el siguiente paso es definir el equipo y herramientas que se utilizarán para ello. Existe un sector en la industria que se dedica a servicios de barniz a otras empresas, ya que la aplicación automática depende mucho de los requerimientos de los ensambles y los estándares de calidad que apliquen.

Existen muchas empresas dedicadas a este tipo de servicios, como Nordson y Welco, los cuales automatizan el proceso aerosol por medio de un robot que dispensa el barniz a los lugares previamente programados (Figura 12) o de un *conveyor* y varios dispensadores de aerosol a lo largo de este (Figura 13).



Figura 12 Ejemplo de una Máquina de Nordson

Fuente: DOI <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s35724-016-0029-0>



Figura 13 Máquina de Recubrimiento Caso ASS

Fuente: DOI <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1365/s35724-012-0078-y>

El inconveniente de este tipo de proceso automatizado es que requiere de mucho espacio para implementarlo, ya que requiere cámaras grandes que permitan aislar el barniz dispensado en el aire para no causar daños a la salud de los operadores, lo cual es algo que se encuentra limitado en una empresa que hasta hacia poco era de bajo volumen.

Precision Valve Automation (PVA) y Specialty Coating Systems (SCS), son los 2 proveedores de preferencia para este proceso en Collins Aerospace ya que se especializan en el barnizado de tableros electrónicos, y acondicionan sus máquinas a las necesidades del cliente. Su tecnología más avanzada, es la de Selective Coating. Sus máquinas consisten en cámaras de 3" x 4" máximo, con uno o varios dispensadores, y dependiendo de los ajustes en los parámetros, atomiza el material para dispensarlo en forma de aerosol. La cantidad y tipos de dispensadores dependen del diseño del tablero electrónico, dependiendo de su complejidad, puede utilizar una sola boquilla y dispensar el material en aerosol, o puede tener varias boquillas dispensando material en aerosol muy fino y otro casi líquido que se debe aplicar con jeringa. Ver Figura 14 y 15.

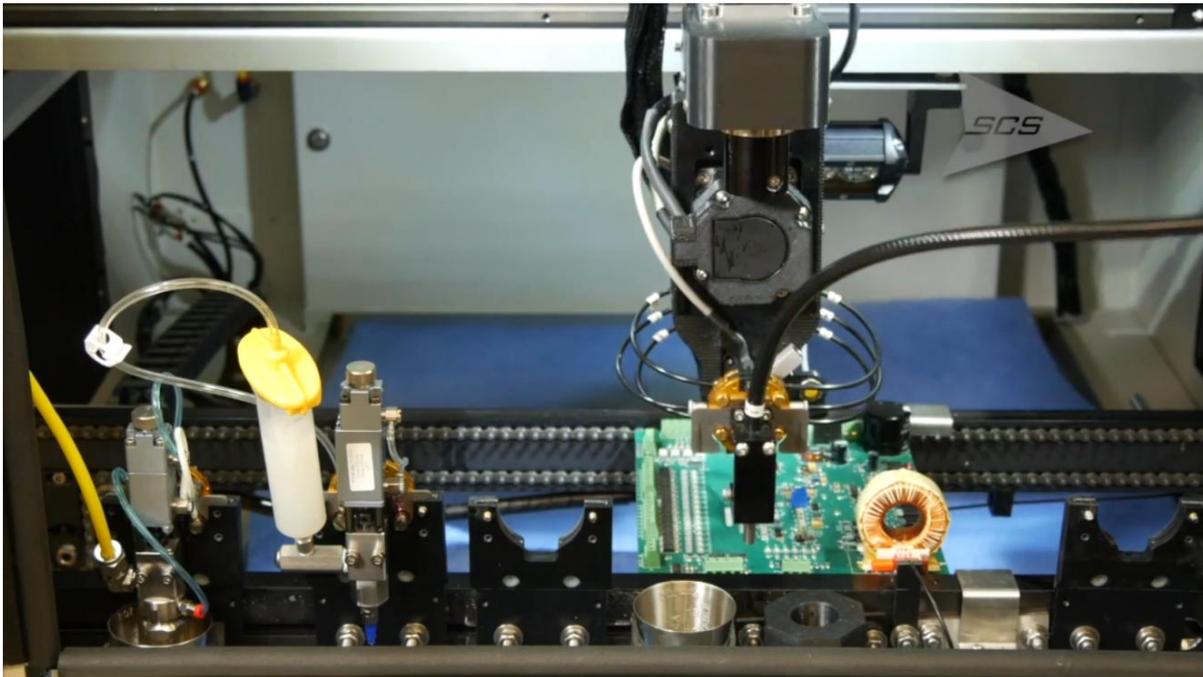


Figura 14 Ejemplo de una Máquina de SCS

Fuente: <https://scscoatings.com/equipment/product-lines/spray-dispense-systems/precisioncoat/>

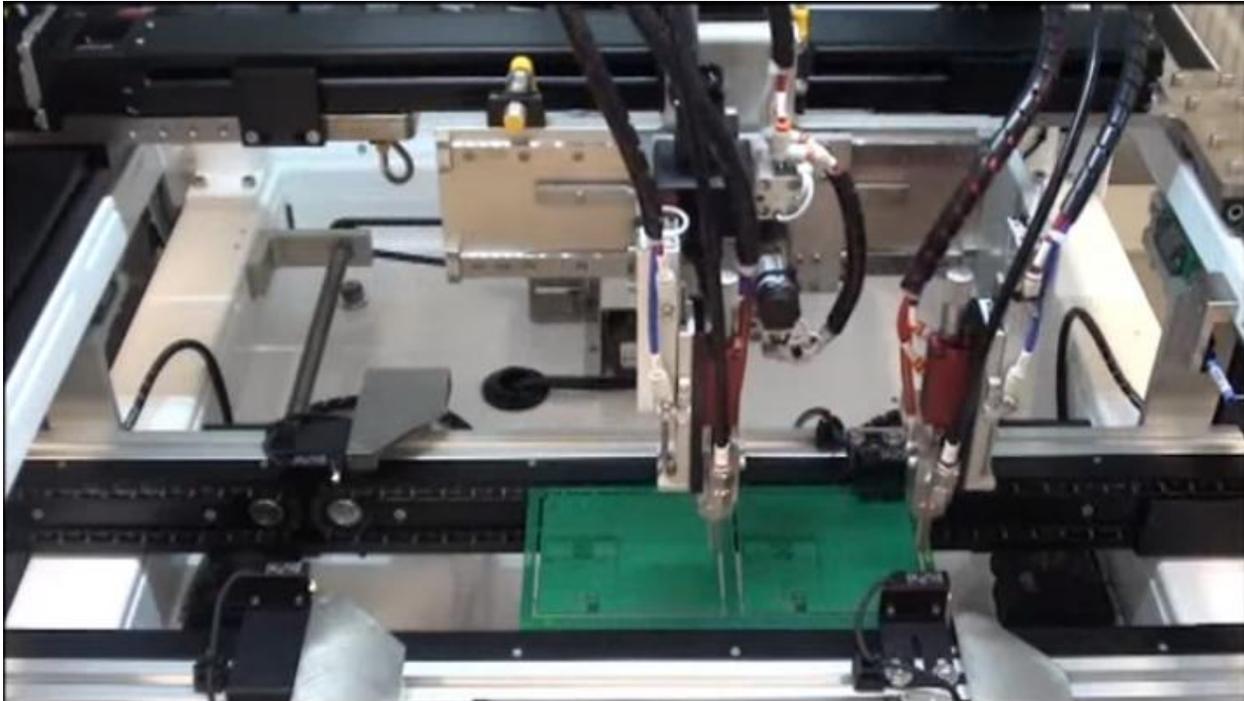


Figura 15 Ejemplo del Interior de una Cámara de PVA
 Fuente: <https://pva.net/library/videos>

Los parámetros que se controlan se encuentran descritos en la Tabla 5:

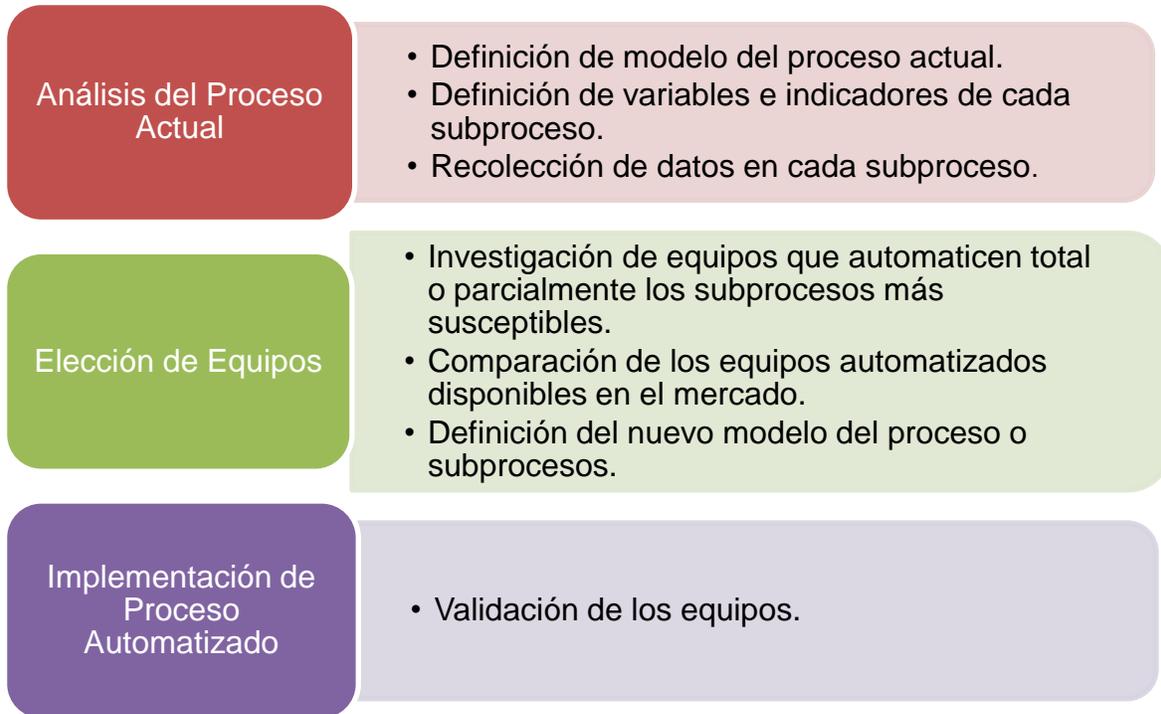
Tabla 5 Parámetros Comunes de Máquinas de *Selective Coating*
 Fuente: Elaboración propia

Parámetro	¿Qué controla?
Presión del tanque de barniz	Determina la cantidad de barniz que entra al sistema de atomización
Presión de la válvula dispersión	Atomiza el barniz
Velocidad del brazo mecánico	Velocidad en la que se mueve el brazo mecánico que sostiene la válvula
Aceleración del brazo mecánico	Velocidad en la que el brazo mecánico cambia de dirección

3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Este proyecto se está llevando a cabo en el proceso de aplicación en aerosol de barniz acrílico dentro de la empresa EEMSA, corporativo Collins Aerospace sede Mexicali y se inició en el mes de Mayo del 2017.

La metodología desarrollada en este documento para automatizar un proceso consiste en las siguientes etapas:



En las siguientes secciones se explicará cada una de estas etapas.

3.1. Análisis del Proceso Actual

La metodología para desarrollar la automatización o semi-automatización del proceso de barnizado comienza por el análisis del proceso que actualmente se lleva a cabo en la empresa.

3.1.1. Modelo del Proceso, sus Variables e Indicadores

El análisis del proceso actual debe iniciar por definir claramente cuál y en qué consiste el proceso exactamente. Para llevarlo a cabo, se debe generar el flujo o modelo del proceso, indicando cuales son las entradas y salidas de cada bloque, es decir, que se necesita para realizar la operación y cuáles son las condiciones que se esperan al final de la operación. Dichas entradas y salidas, corresponden a las variables e indicadores

de cada subproceso. En la Figura 16, se muestra un ejemplo del modelo del proceso de aplicación de barniz por brocha.

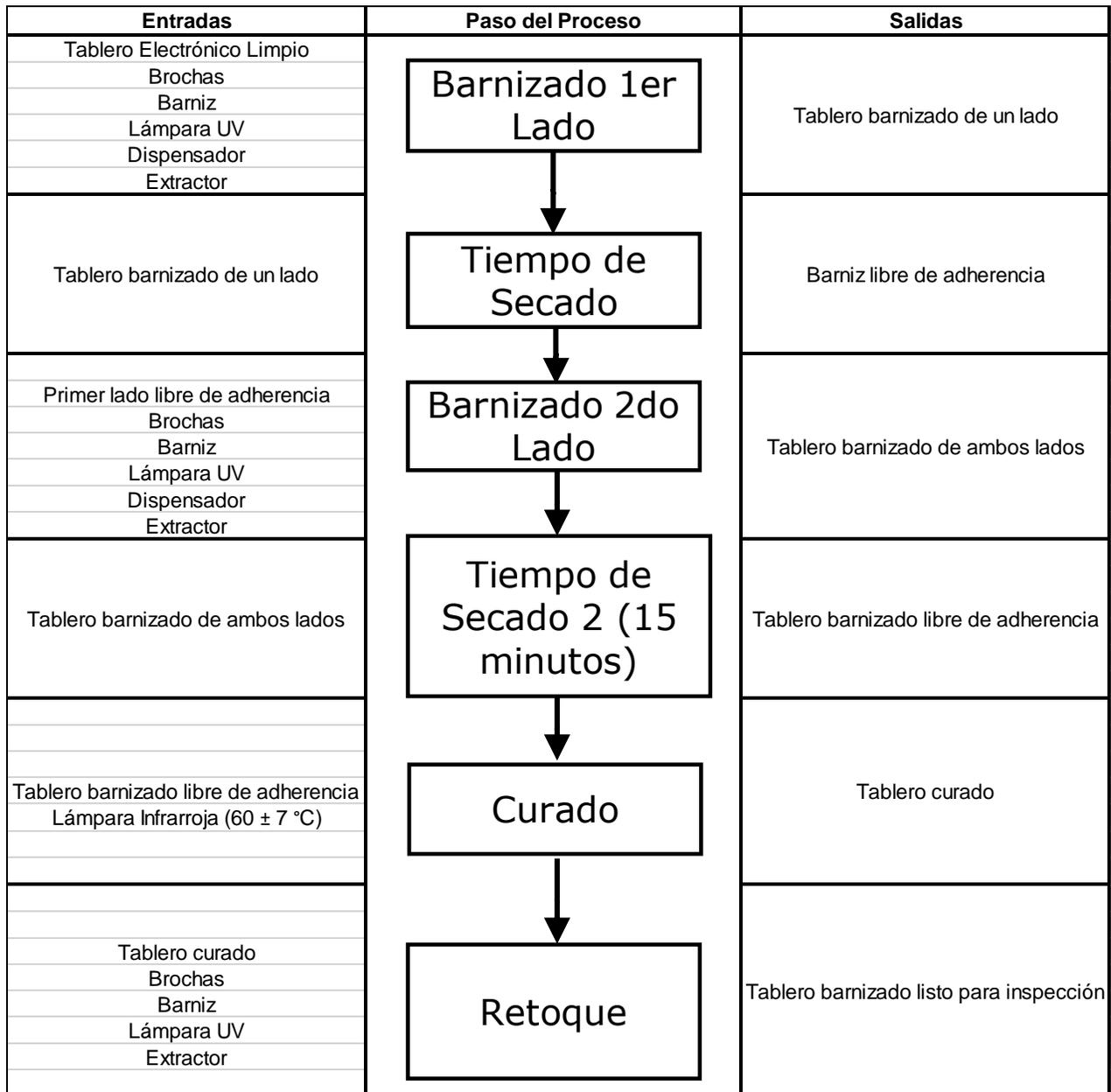


Figura 16 Ejemplo de un Modelo de Proceso de Barniz en Brocha, mostrando entradas y salidas
Fuente: Elaboración propia

Una vez definido el modelo, es necesario realizar una revisión amplia de los requerimientos de calidad, ya que en muchas ocasiones, sobre todo en procesos manuales, se agregan variables e indicadores que solo reducen la velocidad del

proceso o lo vuelve más complicado, sin que exista realmente un requerimiento que demande esa condición. Dicha revisión, debe incluir por lo menos:

- Revisión de dibujos de ingeniería de los ensambles con mayor volumen en producción.
- Lectura de estándares de calidad existentes en la empresa. Esto incluye, pero no se limita a Manual de Calidad, Requerimientos de Seguridad e Higiene e Instrucciones de Trabajo.

En caso que se identifiquen variables o indicadores que no son necesarios para continuar el flujo del proceso, estos se deben de eliminar y actualizar el modelo. Las variables e indicadores presentes en el modelo actualizado, son considerados los parámetros clave que los equipos automáticos deben ser capaces de replicar.

3.1.2. Recolección de Datos

La recolección de datos consiste en documentar los diferentes valores de las variables e indicadores dependiendo del ensamble que está siendo procesado. Por ejemplo, en el caso del subproceso de *Manual Spray*, un operador que desplaza la pistola muy rápido sobre el tablero, va necesitar más “pasadas” que un operador que la desplace más lento, para cumplir con el requerimiento de grosor.

Es importante reafirmar, que una de las razones principales para automatizar un proceso, es la disminución de tiempos, ya sea el tiempo de ciclo del proceso o por lo menos el tiempo labor del operador, por lo que la recolección de datos no solo se debe enfocar en los parámetros clave de cada subproceso, también es necesario tomar tiempos de cada uno, para así poder realizar un análisis de las variables e indicadores respecto al tiempo del subproceso.

Primero se catalogan los tableros electrónicos de acuerdo a su grado de dificultad, ya que no será posible tomar una muestra de cada ensamble que se barniza. Dicha complejidad se definió de acuerdo al número de componentes y áreas que debían permanecer libres de barniz, así como cantidad de componentes que provocaban sombra a otras partes del tablero. Básicamente, en cuanto menos componentes altos tengan instalados en el tablero, este se vuelve más sencillo de barnizar por aerosol.

La recolección de tiempo en minutos se vacía en la Tabla 6 y a partir de ella es posible definir cuáles son los subprocesos más susceptibles a ser automatizados.

Tabla 6 Registro de Tiempos de Subprocesos
Fuente: Elaboración propia

Subproceso	Complejidad del Ensamble		
	Baja	Media	Alta
A			
B			
C			

3.2. Elección de Equipos

En la industria, existen muchos equipos capaces de automatizar casi cualquier proceso, sin embargo, es importante buscar únicamente aquellos equipos que son capaces de replicar los parámetros del proceso manual. Para facilitar dicha búsqueda, se creó la Tabla 7, la cual se debe llenar con información de cada subproceso según aplique. Se deben elegir aquellos equipos que cumplan en su totalidad con los rangos de las variables.

Tabla 7 Visualización de Variables por Subproceso
Fuente: Elaboración propia

Subproceso A	
Variable	Rango / Característica
X1	$z2 \leq Y1 \leq z1$
X2	$z4 \leq Y2 \leq z3$
...	...

Una vez que se hayan encontrado equipos que cumplen los rangos de las variables, o son capaces de cumplirlos con algunas modificaciones, se realiza una comparación entre ellos. La elección de cual equipo es mejor, cuando todas las opciones cumplen con los parámetros clave, se basa en que otras ventajas ofrece un equipo sobre otro. Para visualizar dichas ventajas, se creó la Tabla 8. En esta tabla, solo se deben listar todas aquellas características y atributos que la máquina ofrece además de los parámetros clave y que aporten un beneficio al sistema, sin embargo, si un parámetro tiene una mayor eficiencia a comparación de otra máquina, es permitido agregarlo a la tabla.

Tabla 8 Formato en blanco para realizar la comparación de equipos
Fuente: Elaboración propia

Equipo A			Equipo B		
Ventajas	Observaciones	Otras Características	Ventajas	Observaciones	Otras Características

En la columna de Observaciones, se debe agregar cualquier condición que puede no ser óptima para la empresa, por ejemplo, una máquina puede tener muchas ventajas sobre la segunda opción, pero tiene dimensiones muy grandes y el espacio disponible de instalación es limitado o el costo del equipo sobrepasa el presupuesto. Por último, en la columna de Otras Características, se agregan los atributos de la máquina que no se clasificaron como Ventajas, ya que no representan un beneficio para el sistema.

Mientras se eligen las máquinas y herramientas, es importante visualizar el nuevo modelo del proceso para que en caso que el flujo resultante no sea óptimo, se agregue a la columna de observaciones y facilitar la elección.

Una vez elegido el equipo o equipos, es necesario ajustar el modelo del flujo de cada subproceso antes de generar el nuevo modelo de todo el proceso de Barniz en Aerosol, ya que al automatizar el proceso con una máquina, puede conllevar a que se necesiten nuevos subprocesos manuales o nuevas herramientas que en el flujo no automatizado no eran necesarios. En caso de que se necesiten nuevas máquinas o herramientas para complementar el subproceso, es necesario llenar la Tabla 7 y 8 considerando dichos nuevos equipos.

3.3. Implementación de Equipo Automatizado

La implementación del nuevo proceso automatizado consiste en los siguientes dos puntos:

- Validación de cada subproceso recientemente automatizado
- Validación del proceso completo

3.1.3. Validación de Subprocesos

La validación de subprocesos es básicamente revisar si la máquina o herramienta está replicando fielmente los parámetros del proceso original. Para llevar esto a cabo, cada máquina se puede validar por separado (si el subproceso lo permite) y definir un método de validación que demuestre que el equipo es funcional en el proceso. Para definir el método de validación, se debe tener claro que es lo que se debe medir en cada subproceso y como se espera que se comporte.

La Tabla 9 se creó con el objetivo de visualizar de manera sencilla si el equipo cumplió las expectativas pronosticadas. Antes de iniciar la validación se debe llenar primero la

columna de Indicadores Principales, que son las condiciones que se decidieron medir y cuales resultados se esperan. Posterior a la validación se registran los resultados y cualquier comentario que agregue valor a la validación.

Tabla 9 Análisis de Implementación

Fuente: Elaboración propia

Subproceso	Indicadores Principales	Resultados	Observaciones
A			
B			
C			

Una vez que los equipos fueron validados en su funcionalidad individual, se debe realizar una validación del modelo para detectar posibles condiciones que solo ocurren en flujo continuo, por ejemplo, puede existir un error de comunicación entre una máquina a otra ocasionando una obstrucción en el proceso automático.

3.1.4. Validación del Proceso Completo

La validación del proceso completo, de preferencia, se debe realizar cuando los operadores del proceso ya fueron entrenados en el nuevo equipo, y el nuevo flujo ya se considera estable, es decir, no se generan problemas por desconocimiento de las máquinas.

Se debe comprobar que efectivamente el nuevo proceso automatizado cumplió las expectativas de calidad, reducción de tiempos, entre otras cosas que apliquen al proyecto. También se debe realizar un análisis de capacidad del nuevo proceso implementado y volver a la etapa 1 del proyecto en donde se realiza el análisis del proceso “actual”, y repetir los pasos que apliquen de cada etapa para que el proceso automatizado final se considere satisfactorio.

4. CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Resultados de Análisis del Proceso

4.1.1. Proceso de Barniz en Aerosol

En Collins Aerospace se utiliza la tecnología del *Dry Spray* (Rocío Seco) en la aplicación de barniz acrílico diluido a 15.2% de sólidos. En la planta de Mexicali, dicho proceso, hasta el inicio de este proyecto, consistía en atomizar el barniz por medio de una válvula de doble fluido que el operador debía desplazar manualmente sobre la superficie del tablero electrónico. En la Figura 17 se muestra el flujo del proceso de aerosol desde que el tablero entra al área de barnizado. Aquí se muestra de manera general el análisis del proceso que se realizó.



Figura 17 Modelo de Proceso de Aerosol Manual

Fuente: *Elaboración propia*

- **Cubrimiento de Áreas Libres**

Operador verifica visualmente que el tablero electrónico se encuentre limpio, seco y sin daños obvios. Posteriormente, se cubren áreas y componentes del tablero que deben permanecer libres de barniz de acuerdo a lo indicado en el dibujo de ingeniería y estándares de calidad. Esta operación se debe realizar obligatoriamente con una corriente de aire ionizado apuntando al tablero para disminuir el riesgo de daño por ESD y los materiales que se utilizan incluyen pero no se limitan en cinta adhesiva de varios tamaños y formas, resistente a altas temperaturas, tapones de silicón y espaciadores de plástico o metal para evitar que el tablero haga contacto directo con la base giratoria. La cinta adhesiva es cortada por el mismo operador.

- **Aplicación de Barniz (*Manual Spray*)**

Se aplica el barniz en mínimo 2 capas utilizando una base giratoria. La primera capa de barniz se aplica de manera rápida, por lo que el grosor del barniz en el tablero es muy ligero y libre de adherencia. Esta capa funciona como un sellador y permitirá que la

segunda capa se adhiera mejor. También permite al operador verificar si necesita cambiar los parámetros de la válvula o del tanque de presión.

La mayoría del barnizado se realizará sosteniendo la pistola aproximadamente 45 grados con respecto a la superficie del tablero. Este ángulo puede variar para cubrir ciertos componentes y minimizar el sombreado.

A continuación se describen los pasos del método de aplicación:

- Rociar la parte superior del ensamble, sosteniendo la pistola a un ángulo aproximado de 45 grados. Mantenga la pistola en una orientación fija a la superficie, comenzando el patrón de rocío de un lado del tablero y procediendo al lado opuesto. No gire la muñeca.
- Gire el ensamble 90 grados y repita, 180 grados y repita, y 270 grados y repita. Esto asegura que los componentes del tablero sean barnizados por todos los lados. El barniz debe ser libre de adherencia inmediatamente.
- Gire el ensamble y repita el proceso para el lado inferior del tablero.
- Repita el proceso para ambos lados del ensamble un mínimo de 8 pasadas. Es permitido agregar más pasadas de aerosol para cumplir consistentemente con los requerimientos de grosor y el manual de calidad.

- **Remoción de Cubrimiento**

Se remueven todas las herramientas y consumibles instalados en el tablero en el paso de Cubrimiento. Al igual que el paso de Cubrimiento, esta operación se debe realizar obligatoriamente con una corriente de aire ionizado apuntando al tablero para disminuir el riesgo de daño por ESD.

- **Retoque**

Pequeñas aplicaciones de barniz, utilizando brocha o jeringa, para reparar zonas desprendidas por remover el cubrimiento y en zonas donde la falta de barniz podría resultar en un defecto de insuficiencia. Gotas de tolueno también se pueden usar para disolver el barniz desprendido (al remover el cubrimiento) y permitir que se fusione.

- **Curado**

Colocar el tablero bajo la lámpara Infrarroja a 60°C durante 20 minutos mínimo. Una vez concluido el curado, los tableros se deben dejar enfriar a temperatura ambiente antes de ser colocados en bolsas o contenedores de ESD.

- **Inspección**

Se debe inspeccionar con la ayuda de iluminación de luz negra. La inspección se realizará a simple vista hasta un máximo de 4X, no es permitido utilizar microscopio. Si una condición no conformante requiere un aumento de más de 4X para identificarlo, entonces se considera un indicador de proceso y no un defecto.

4.1.2. Definición de Variables e Indicadores del Proceso en Aerosol

Para identificar las variables e indicadores del proceso, se vació la información del proceso en la Tabla 10.

Tabla 10 Modelo de Proceso de Barniz en Aerosol mostrando entradas y salidas
Fuente: Elaboración propia

Entradas	Paso del Proceso	Salidas
<ul style="list-style-type: none"> * Tablero Electrónico * Material de Cubrimiento * Pinzas * Ionizador * Tijeras 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Cubrimiento</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	Áreas libres de barniz cubiertas en su totalidad
<ul style="list-style-type: none"> * Áreas libres de barniz cubiertas en su totalidad * Barniz Acrílico 15.2% de sólidos * Sistema de Pistola de Barniz * Parámetros de <i>Dry Spray</i> * Velocidad constante en el movimiento de la pistola * Ángulo de pistola de barniz respecto al tablero de aproximadamente 45° * Lámpara de Luz Ultravioleta * Sistema de Extracción 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"><i>Manual Spray</i></div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Grosor de barniz de .001" a .004" * Barniz casi libre de adherencia
<ul style="list-style-type: none"> * Barniz casi o totalmente libre de adherencia * Pinzas 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Remoción de Cubrimiento</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	<ul style="list-style-type: none"> * Tablero sin residuos de cubrimiento * Barniz libre de adherencia
<ul style="list-style-type: none"> * Tablero sin residuos de cubrimiento * Barniz libre de adherencia * Barniz Acrílico sin diluir * Lámpara de Luz Ultravioleta * Brochas y Jeringas * Sistema de Extracción 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Retoque</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	Tablero barnizado de acuerdo al dibujo de ingeniería
<ul style="list-style-type: none"> * Tablero barnizado de acuerdo al dibujo de ingeniería * Lámpara Infrarroja a 60 ± 7 °C 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Curado</div> <p style="text-align: center;">↓</p>	Tablero barnizado y curado de acuerdo al dibujo de ingeniería
<ul style="list-style-type: none"> * Tablero barnizado y curado de acuerdo al dibujo de ingeniería * Lámpara de Luz Ultravioleta 	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Inspección</div>	Tablero barnizado sin defectos

Removiendo aquellas entradas que corresponden a material consumible (barniz, brochas, etc.), y herramienta común (pinzas) se lograron deducir las variables e

indicadores de cada subproceso. La Tabla 11 muestra los resultados de la búsqueda de parámetros:

Tabla 11 Variables e Indicadores de los Subprocesos de Barniz en Aerosol
Fuente: Elaboración propia

Subproceso	Variables	Indicadores
Cubrimiento de Áreas Libres de Barniz	<ul style="list-style-type: none"> • Material de Cubrimiento • Rapidez del operador 	<ul style="list-style-type: none"> • Áreas libres de barniz cubiertas en su totalidad • Tiempo labor
<i>Manual Spray</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de realizar <i>Dry Spray</i> • Desplazamiento espacial de la pistola en 4 ejes • Velocidad de la pistola • Angulo de la pistola 	<ul style="list-style-type: none"> • Grosor de barniz • Barniz casi libre de adherencia
Remoción de Cubrimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Material de Cubrimiento • Destreza del operador 	Tablero libre de residuos
Retoque	<ul style="list-style-type: none"> • Material de Cubrimiento • Cubrimiento correctamente instalado 	Tiempo de Retoque
Curado	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Tiempo 	Tablero curado

4.1.3. Recolección de Datos de Variables

Para determinar cuáles eran los subprocesos más susceptibles a la automatización se catalogan los tableros electrónicos de acuerdo a su grado de dificultad, ya que no será posible tomar una muestra de cada ensamble que se barniza. Dicha complejidad se definió de acuerdo al número de componentes y áreas que debían permanecer libres de barniz, así como cantidad de componentes que provocaban sombra a otras partes del tablero. Básicamente, en cuanto menos componentes altos tengan instalados en el tablero, este se vuelve más sencillo de barnizar por aerosol.

Se tomaron los tiempos de un operador de cubrimiento, un operador de *manual spray*, un operador de remoción de cubrimiento y de 2 operadores de retoque en diferentes complejidades de ensambles y se obtuvo un promedio por cada categoría. El resumen de los datos recolectados se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12 Registro de Tiempo en Minutos de Proceso de Aerosol Manual
Fuente: Elaboración propia

Subproceso	Complejidad del Ensamble		
	Baja	Media	Alta
Cubrimiento	13.334	34	75
<i>Manual Spray</i>	7.53	10.4	20.4
Remoción de Cubrimiento	3.334	4	25
Retoque	13.5	22.667	45

Los subprocesos que consumían más tiempo son Cubrimiento y Retoque, sin embargo, el tiempo de retoque depende altamente de cómo fue cubierto el tablero y como fue barnizado, por lo que se decidió optimizar inicialmente los subprocesos de Cubrimiento y de *Manual Spray*.

4.2. Elección de Equipos

4.2.1. Definición de Parámetros del Proceso

Al establecer que los subprocesos a automatizar eran Cubrimiento de áreas libres de barniz y *Manual Spray*, se procedió a llenar sus tablas de Visualización de Variables que se muestran a continuación:

Tabla 13 Visualización de Variables de Subproceso de Cubrimiento
Fuente: Elaboración propia

Subproceso: Cubrimiento de Áreas Libres de Barniz	
Variable	Rango / Característica
Material de Cubrimiento	Capacidad de adhesión a superficie de tablero y componentes
	Fácil desprendimiento
	Limpio al desprenderse
Rapidez del Operador	Tiempo \leq 50 minutos

Tabla 14 Visualización de Variables de Subproceso de *Manual Spray*
Fuente: Elaboración propia

Subproceso: <i>Manual Spray</i>	
Variable	Rango / Característica
Capacidad de realizar <i>Dry Spray</i>	Capaz de realizar <i>Dry Spray</i>
Tiempo de <i>Dry Spray</i>	Tiempo \leq 20 minutos
Grosor de Barniz	$.001'' \leq$ Grosor \leq $.004''$
Desplazamiento espacial de la válvula de aplicación	4 ejes
Ángulo de rotación vertical de la válvula de aplicación	$30^\circ \leq$ Ángulo \leq 45°
Velocidad de desplazamiento espacial de la válvula de aplicación	$22.227 \text{ cm/s} \leq$ Velocidad \leq 46.0375 cm/s
Área de Rociado Efectivo de la Boquilla de la válvula de aplicación	1.2" diámetro

4.2.2. Automatización de Subprocesos

4.2.2.1. Automatizando el Proceso de Cubrimiento

Para el proceso de Cubrimiento, se decidió evaluar el material de cubrimiento desprendible de Dymax: Ultra Fast 9-20515 Red, Peelable Mask, el cual es posible aplicarse en el tablero utilizando la máquina PVA debido a su opción de aplicar 2 materiales en la misma cámara.

Desafortunadamente, a pesar de que el material desprendible se curaba extremadamente rápido y protegía exitosamente las áreas que debían permanecer libres de barniz, el resultado de la evaluación no fue satisfactorio por las siguientes razones:

- Al momento de desprenderlo también se desprendía el barniz instalado, como se muestra en la Figura 18.
- El material ya desprendido dejaba residuos en el tablero difíciles de limpiar.

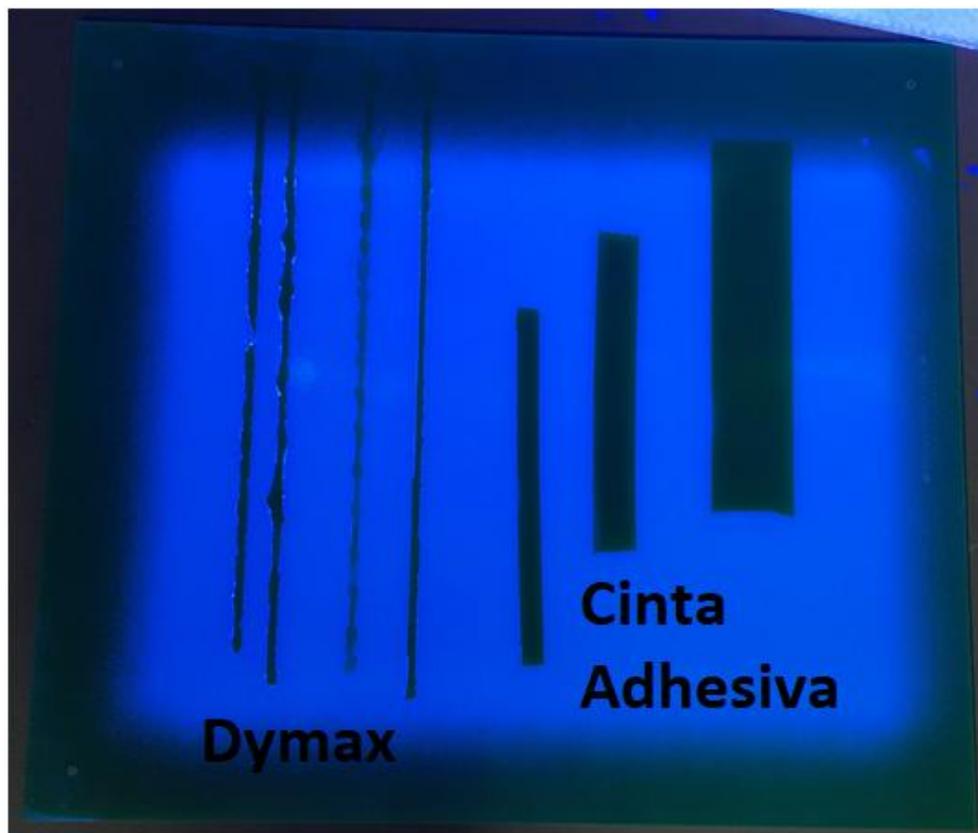


Figura 18 Pruebas de Dymax contra Cinta Adhesiva
Fuente: Elaboración propia

Paralelamente, se decidió evaluar la impresora/cortadora (*Cutting Plotter*) Graphtec Modelo FC8600 (Figura 19), la cual se especializa en dibujar y cortar en materiales adherentes, que en el caso de este proceso es la cinta adhesiva KD11. Esta herramienta, automatiza parcialmente el proceso, ya que el *plotter* se encarga de dibujar las figuras en las formas y tamaños necesarios para cubrir los componentes y áreas que deben ser libres de barniz, y posteriormente las corta (Figura 20). De esta manera, el operador simplemente debe colocar el recorte de cinta en el área que corresponda en el tablero, de acuerdo a lo indicado en su ayuda visual. La ayuda visual del operador, le indicará a base de números o referencias de componentes, dónde colocar cada recorte de la plantilla generada por el *plotter*.

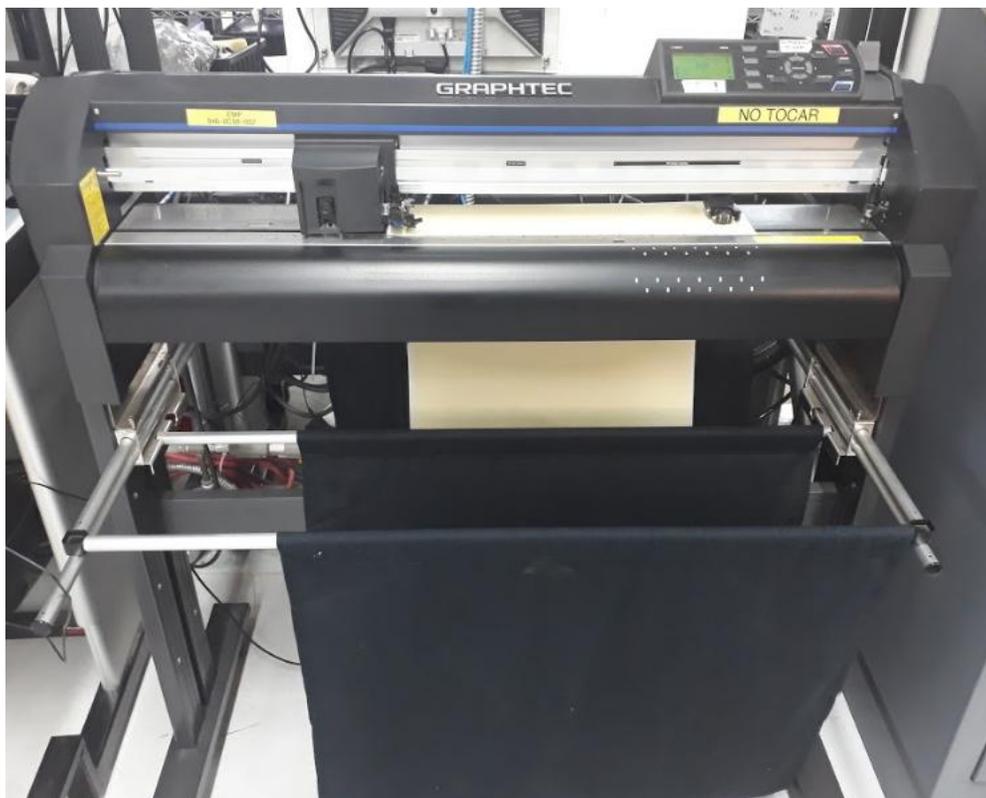


Figura 19 Plotter
Fuente: Elaboración propia

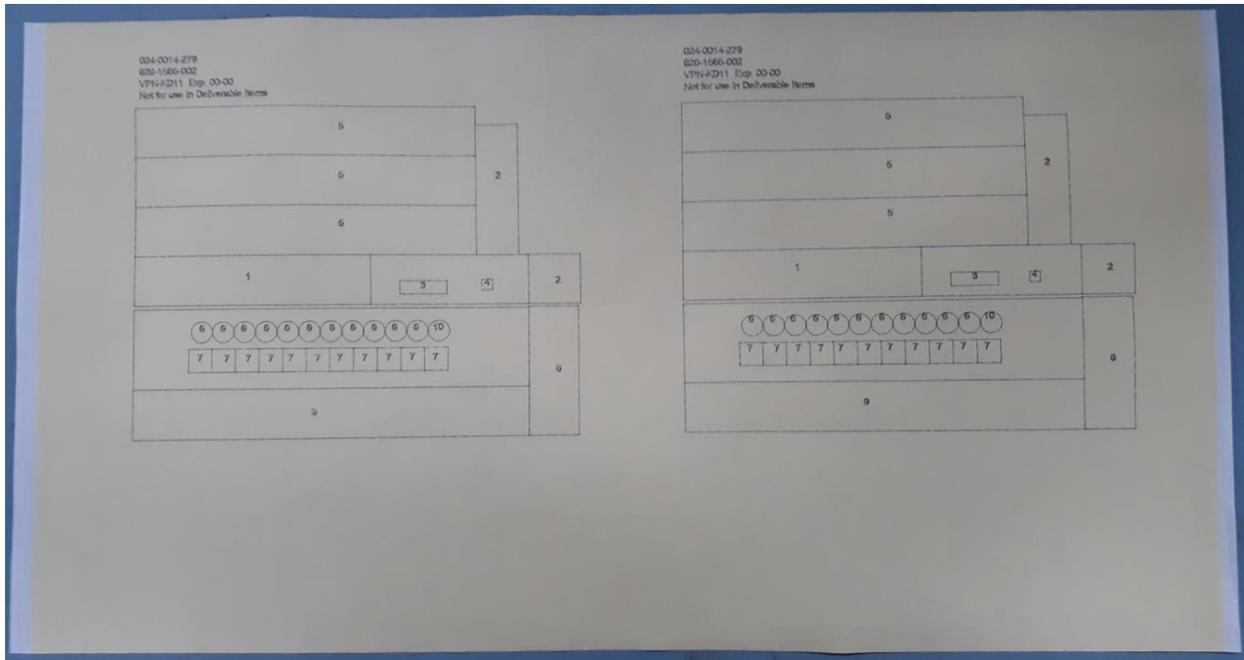


Figura 20 Plantilla impresa en plotter
Fuente: *Elaboración Propia*

Al incluir el plotter en el subproceso de Cubrimiento de Áreas Libres de Barniz, el flujo aumenta un paso para el operador, el cual corresponde a la impresión de la plantilla. La Figura 21 muestra un diagrama a bloques del nuevo modelo del subproceso.

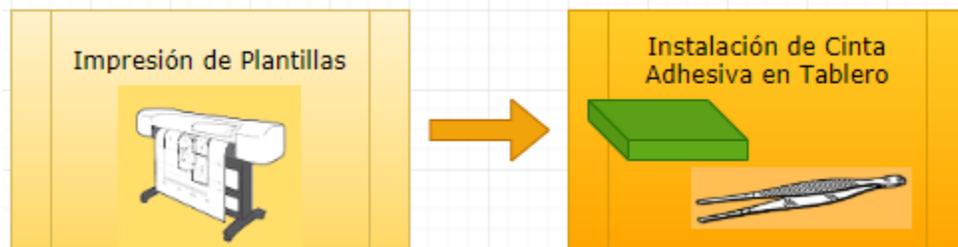


Figura 21 Nuevo Modelo del Subproceso de Cubrimiento de Áreas Libres de Barniz
Fuente: *Elaboración propia*

4.2.2.2. Automatizando el Proceso de Manual Spray

En base la Tabla 14, un sistema de banda transportadora es descartado debido a que no es capaz de reproducir las variables del proceso, particularmente los parámetros de *Dry Spray*, el cual requiere que se realicen varias pasadas sobre el material en un periodo de tiempo corto.

Los equipos automáticos de *Selective Spray* (descritos brevemente en el capítulo 2) son capaces de reproducir o asemejar todas las variables mencionadas en la Tabla 14, ya que consisten en un brazo mecánico que desplaza una válvula sobre puntos o áreas previamente programados de la superficie del tablero. Dichos equipos permiten que la válvula se desplace en todas las direcciones dentro de la cámara, a una inclinación predefinida por el proveedor, replicando la flexibilidad de movilidad que brinda el proceso de *Manual Spray*.

La única variable que no es capaz de replicar con exactitud es el ángulo de rotación vertical, afortunadamente, esta variable no es necesaria que se replique con exactitud, ya que en el proceso manual, el requerimiento del ángulo era solo un valor fácil de entender para que el operador no rociara de forma anti-ergonómica (totalmente vertical, 90°) o de forma que llegara poco material al tablero (totalmente horizontal, 180°).

En base a lo anterior, se encontraron 2 equipos que reunían dichas características y los fabricantes permitían personalizar la máquina de acuerdo a las necesidades del cliente. PVA Delta 8 (Figura 22) y SCS Precision Coat V (Figura 23) son equipos especializados en la aplicación selectiva de materiales de recubrimiento en tableros electrónicos y ambos equipos ofrecen otros beneficios que se podrían implementar con el tiempo.



Figura 22 PVA Delta 8

Fuente: <https://pva.net/products/selective-conformal-coating/delta-8-fd>



Figura 23 SCS Precision CoatV

Fuente: <https://scscoatings.com/equipment/product-lines/spray-dispense-systems/precisioncoat/>

En ambos equipos las válvulas se montan en un robot cartesiano de dos a cuatro ejes (dependiendo del requerimiento del cliente), y dichos ejes tienen límites para evitar daños a la máquina. Toda la dispersión del material se realiza en el área de trabajo cerrada con vidrio de seguridad o policarbonato. La ruta de dispersión y las boquillas activas están controladas por un programa almacenado en el controlador de movimiento. El operador controla la celda de trabajo por medio del software del fabricante; esto incluye la configuración de la máquina, la operación manual, la selección de programas y la operación automática, además de mostrar el estado de la máquina y los mensajes de error.

En la Tabla 15 a continuación se muestra un resumen de las ventajas y otras observaciones de ambos equipos.

Tabla 15 Comparación de Equipos de *Selective Spray*
Fuente: Elaboración propia

PVA Delta 8			SCS Precision CoatV		
Ventajas	Observaciones	Otras Características	Ventajas	Observaciones	Otras Características
Protocolos de transferencia SMEMA	Interfaz en Inglés	Selección de programas por código de barras	Protocolos de transferencia SMEMA	Solo se permite un tipo de material de aplicación en una celda	Ajuste programable del micrómetro de la válvula.
Múltiples aplicaciones de diferentes materiales en una celda				Interfaz en Inglés	Presiones programables de atomización y contenedor
Soporte Técnico Permanente					

Después de analizar ambos equipos se eligió el equipo de PVA Delta 8, principalmente por su habilidad de dispensar 2 materiales en la misma celda de trabajo, ya que representa una oportunidad de automatizar el proceso de cubrimiento con la misma máquina. Además de que la opción de seleccionar el programa utilizando un escáner, permite el equipo se integre a un sistema en línea completamente automatizado.

Como producto de la elección de los equipos se vio la necesidad de adquirir un *conveyor* convencional, es decir, una banda transportadora y un *conveyor* inversor, el cual además de transportar el tablero, es capaz de girarlo, lo que conlleva a una nueva comparación y selección de equipos para complementar el subproceso de aplicación

de barniz. El nuevo flujo del subproceso de aplicación de barniz es mostrado en la Figura 24.

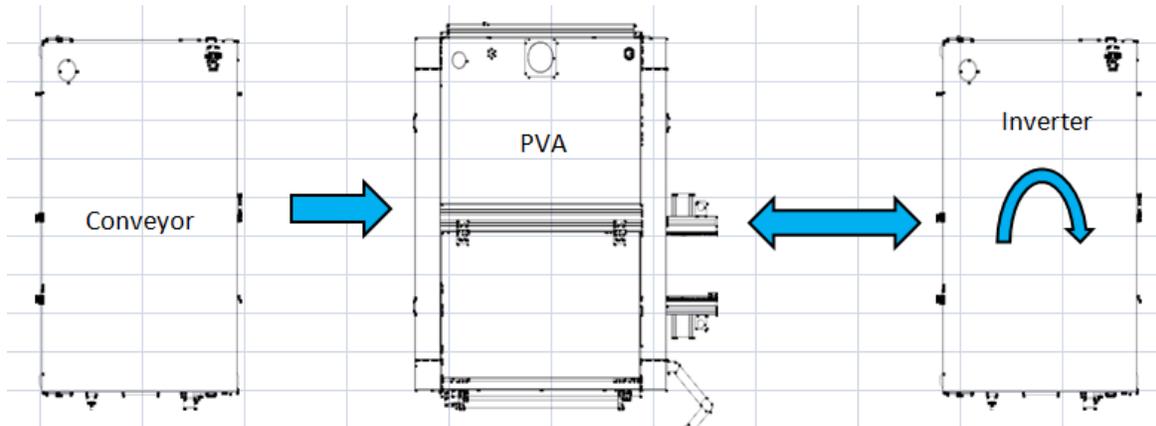


Figura 24 Sistema de Aplicación Automática de Barniz en Aerosol
Fuente: Elaboración propia

El flujo del sistema consiste en los siguientes pasos:

- 1.- Tablero electrónico es colocado sobre el *conveyor*
- 2.- Entra a la máquina PVA por su lado izquierdo donde se barniza por un lado
- 3.- Tablero sale de PVA por el lado derecho y entra al Inversor (*Inverter*)
- 4.- Inversor voltea el tablero
- 5.- Tablero entra a PVA por el lado derecho y se barniza por el según lado
- 6.- Tablero sale de PVA por el lado izquierdo

Para la elección del *conveyor* convencional y el *conveyor* inversor se llenaron sus tablas de visualización de variables mostradas a continuación:

Tabla 16 Visualización de Variables de Conveyor
Fuente: Elaboración propia

Conveyor	
Variable	Rango / Característica
Protocolos de transferencia SMEMA	Compatible con PVA

Tabla 17 Visualización de Variables de Inversor
Fuente: Elaboración propia

Inversor	
Variable	Rango / Característica
Protocolos de transferencia SMEMA	Compatible con PVA
Dirección	Bidireccional

Se compararon los equipos que ofrecía PVA, los cuales eran Queue (Figura 25) y Bi2000 (Figura 27) contra los equipos de Simplimatic: Edge Belt Conveyor Modelo 3011 (Figura 26) y Board Inverter Modelo 3050 (Figura 28) y se llenaron sus tablas de ventajas mostradas a continuación.



Figura 25 PVA Queue
 Fuente: <https://pva.net/products/curing-handling-inspection/queue-chi>



Figura 26 Simplimatic Edge Belt Conveyor Modelo 3011
 Fuente: <https://simplimatic.com/product/cimtrak-edge-belt-conveyor/>

Tabla 18 Comparación de Conveyors
 Fuente: *Elaboración propia*

PVA Queue			Simplimatic Edge Belt Conveyor		
Ventajas	Observaciones	Otras Características	Ventajas	Observaciones	Otras Características
	Interfaz en Inglés	Luz Negra	24" de ancho		
	42" de ancho	Interfaz de pantalla táctil			



Figura 27 PVA Bi2000

Fuente: <https://pva.net/products/curing-handling-inspection/bi2000-chi>



Figura 28 Board Inverter Modelo 3050

Fuente: <https://simplimatic.com/product/cimtrak-edge-belt-board-inverter/>

Tabla 19 Comparación de Inversores

Fuente: *Elaboración propia*

PVA Bi2000			Simplimatic Board Inverter		
Ventajas	Observaciones	Otras Características	Ventajas	Observaciones	Otras Características
	Interfaz en Inglés	Luz Negra	24" de ancho		
	42" de ancho	Interfaz de pantalla táctil			

Debido a que los equipos de PVA no ofrecían ventajas extras al subproceso y sus otras características no representaban mucha ganancia, se decidió por implementar las equipos de Simplimatic: Edge Belt Conveyor Modelo 3011 y Board Inverter Modelo 3050, los cuales son simples de usar, y ocupan menos espacio que los productos de PVA.

4.3. Resultados de la Implementación del Proceso Automatizado

4.3.1. Validación de los Equipos

Prueba de Grosor

El cupón metálico será barnizado utilizando los mismos parámetros de la máquina que un ensamble de producción, una vez que alcance un estado libre de adherencia, este deberá ser curado de acuerdo a la Tabla 3. Una vez curado, el cupón debe dejarse enfriar a temperatura ambiente antes de tomar las mediciones.

Cada cupón de aluminio se debe medir en 3 posiciones, izquierda, centro y derecha, y todas las mediciones deben encontrarse dentro del rango permisible para aceptar la prueba. Se debe colocar la punta sobre el cupón de tal manera que la punta sea perpendicular a la superficie barnizada y su anillo exterior tenga contacto completo con el cupón (es decir, punta no inclinada, ver Figura 29) y se debe asegurar de levantar la punta al menos 2 pulgadas de la superficie del cupón entre cada medición para evitar falsas mediciones. (946-0D64-002, 2017, p. 16)



Figura 29 Punta en Cupón
Fuente: Elaboración propia

La validación del nuevo proceso de Cubrimiento consistió en cubrir y barnizar 2 tableros de cada categoría de complejidad y revisar físicamente que efectivamente no se haya penetrado barniz a través de la cinta y que se desprendiera fácilmente sin dañar el barniz instalado. Los resultados se muestran en la Tabla 18.

Para la validación de la aplicación del aerosol se utilizarán 3 cupones de aluminio, barnizados y curados utilizando los mismos métodos que producción como muestras representativas para evaluar el espesor, la adhesión y la calidad general del barniz (Figura 30).

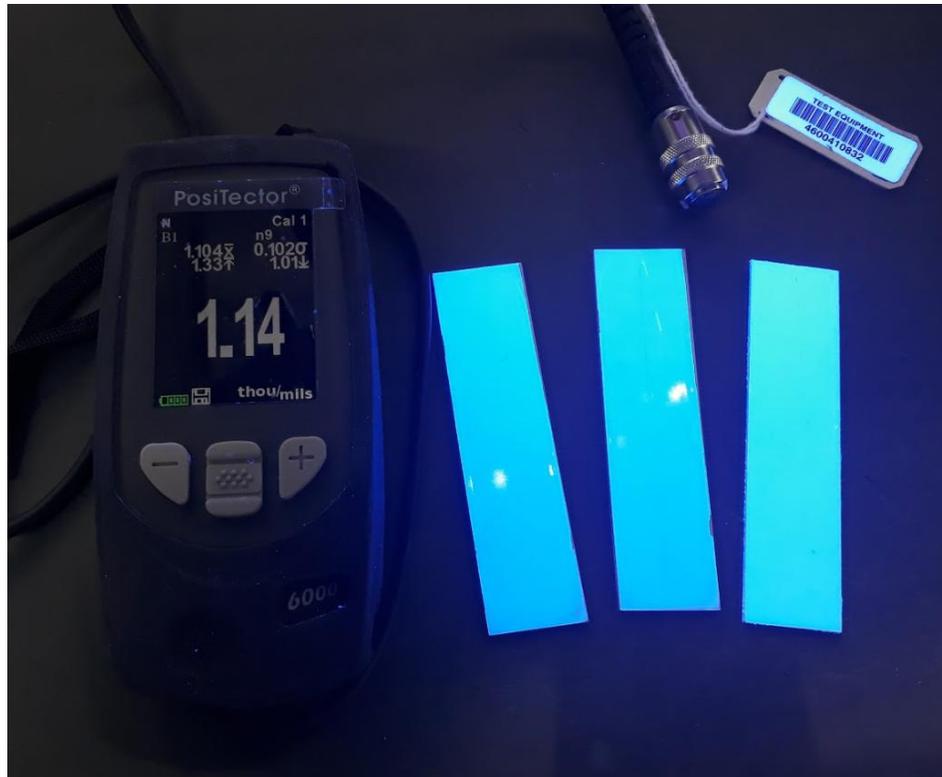


Figura 30 Prueba de Cupones
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20 Resultados de Implementación de Sistema Automatizado
Fuente: Elaboración propia

Subproceso	Indicadores Principales	Resultados	Observaciones
Cubrimiento	Figuras impresas fáciles de remover y adherir al tablero	Figuras legibles, cortadas apropiadamente y con adherencia	
	Áreas cubiertas libres de barniz	Áreas libres de barniz	
	No desprendimiento de barniz al retirar el material	No desprendimiento de barniz	
	Tiempo	<u>Baja:</u> 11.54 minutos <u>Media:</u> 19.765 minutos <u>Alta:</u> 40 minutos	
Aplicación de Barniz	.001" ≤ Grosor ≤ .004"	1.08" 1.126" 1.106"	
	Tiempo	7.74 minutos	Programa más lento
	Comunicación entre equipos Simplimatic y PVA	Sin problemas	Ajustes en sensores de equipos Simplimatic

4.3.2. Disminución de Defectos y Aumento de Producción

El nuevo sistema parcialmente automatizado fue implementado oficialmente en Abril del 2017 y se consideró estable hasta el mes de Julio de ese mismo año debido a que en los primeros meses inició a su vez el proyecto de migración de tableros del proceso de brocha al proceso automático.

Como se puede ver en la gráfica mostrada en la Figura 31, la cantidad de defectos disminuyó y la cantidad de tableros aumentó 133.79% en los últimos 6 meses.

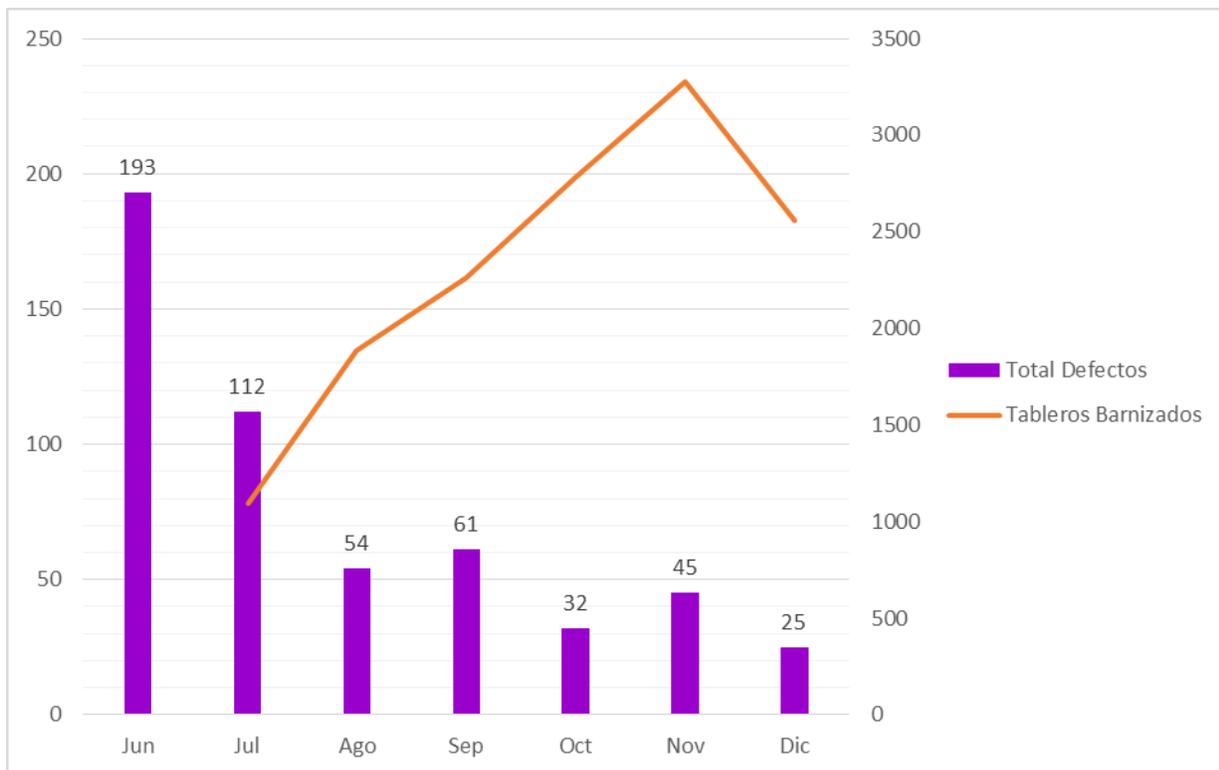


Figura 31 Gráfica de Defectos vs Tableros Barnizados con Sistema Automático

Fuente: Elaboración propia

El aumento significativo de la producción de tableros barnizados se debió principalmente a la reducción del tiempo labor de Cubrimiento de Áreas Libres de Barniz y de Retoque. Una comparación entre los tiempos promedio de cada subproceso se muestra en las gráficas 32 y 33.

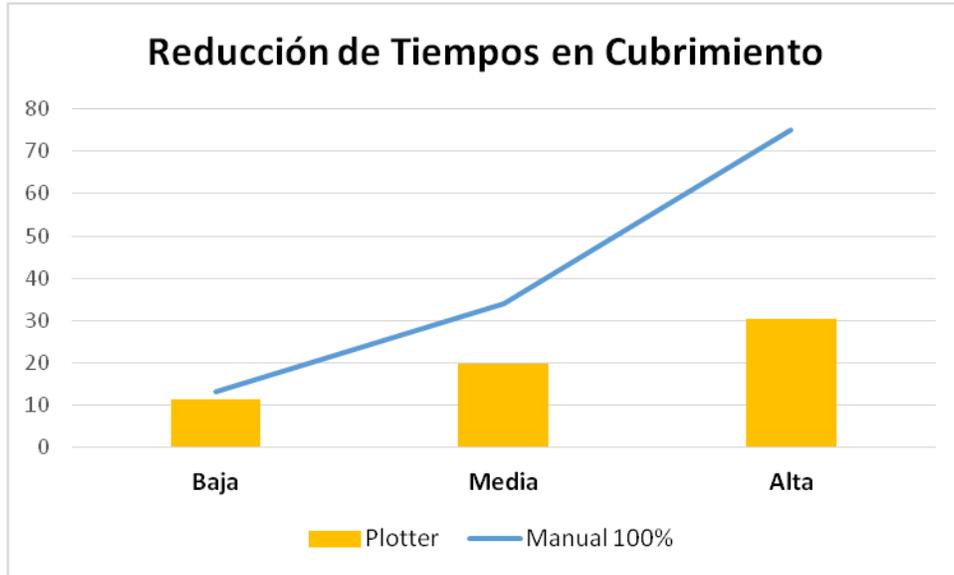


Figura 32 Comparación de Tiempos Promedio del Subproceso de Cubrimiento
Fuente: Elaboración propia

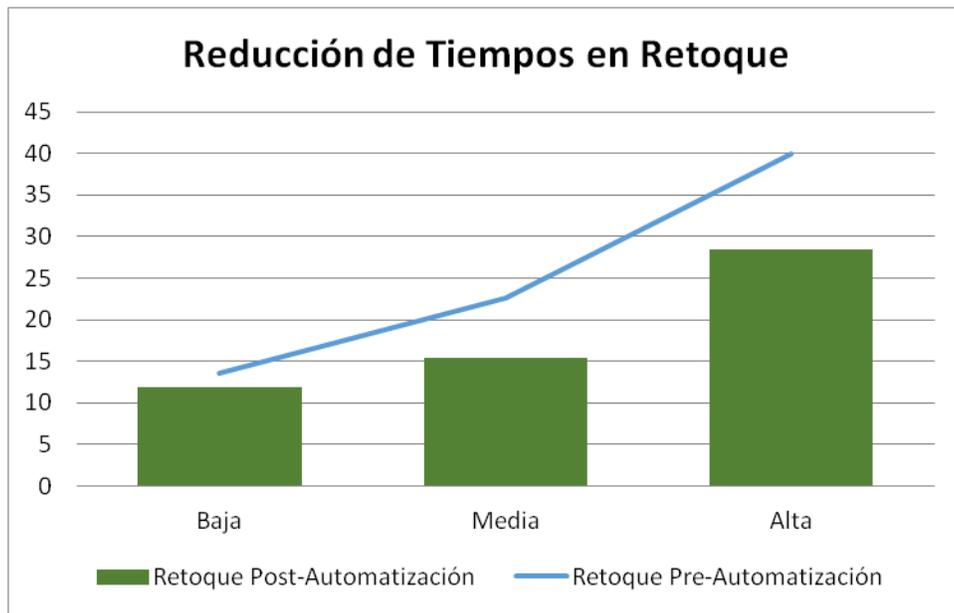


Figura 33 Comparación de Tiempos Promedio del Subproceso de Retoque
Fuente: Elaboración propia

5. Capítulo V: Discusión, Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

En el presente proyecto se desarrolló una metodología para automatizar o semi-automatizar el proceso de barnizado de piezas en la empresa en cuestión. La metodología presentada probó ser benéfica para el proceso semi-automatizado, en especial porque logró reducir el tiempo de ciclo, el número de errores generados en las piezas y el tiempo de labor de los trabajadores. Además, aumentó la productividad, elevó la calidad de las piezas producidas y optimizó el proceso completo de barnizado. La implementación del proceso semi-automatizado permitió comprobar la efectividad de la aplicación de la metodología propuesta para automatizar procesos similares, por lo que es posible utilizarla para futuras necesidades de automatización en la empresa.

5.2. Problemas del Nuevo Sistema Implementado

El problema más significativo con el que se enfrentó el nuevo sistema fue el sistema de *conveyors*. Debido a que los equipos de Simplimatic (y en realidad cualquier otro proveedor de este tipo de productos) están diseñados para automatizar el movimiento de tableros electrónicos iguales, lo cual no era el caso del área de barniz en donde los tableros variaban considerablemente en tamaño y se debían usar bases para adecuar el tablero a las máquinas de manera estándar.

La máquina PVA no tuvo dificultades para trabajar a pesar de los diferentes tamaños de los tableros, pero los *conveyors* tuvieron que ser ajustados varias veces para adecuar los sensores en el punto exacto donde podría detectar la base independientemente del tamaño o forma del tablero.

5.3. Oportunidad de Mejora en la Metodología

Debido a que los objetivos de automatizar el proceso eran la disminución de defectos y la habilidad de cumplir la demanda de producción de ese momento, no se agregó dentro de las etapas de la metodología el considerar posibles aumentos súbitos en la demanda. Dicha oportunidad de mejora se detectó a unos meses de que el sistema se encontrara totalmente implementado, cuando se anunció que la capacidad del área debía duplicarse para el 2019.

5.4. Oportunidades de Mejora en el Nuevo Proceso

5.4.1. Ampliación de Sistema de Barniz Automático

En el mes de Agosto del 2018 se anunció que la planta de Mexicali recibiría un nuevo programa para inicios del 2019, lo que conllevó a realizar un análisis de capacidad en el proceso actual de barniz para conocer si el sistema automático recién implementado sería capaz de soportar la demanda. Considerando 3 turnos, los resultados del análisis de capacidad demostraron que al sistema actual de barniz automático le faltaría al menos 20% de capacidad, lo cual conllevó a repetir la metodología para ampliar y a su vez mejorar el proceso. En este caso, se enfocó únicamente en modificar el subproceso de Aplicación de Barniz en Aerosol.

El modelo mostrado en la Figura 32, representa el sistema óptimo del proceso de barniz automático en aerosol que será capaz de cumplir con la demanda de tableros barnizado al resto de las áreas de producción.

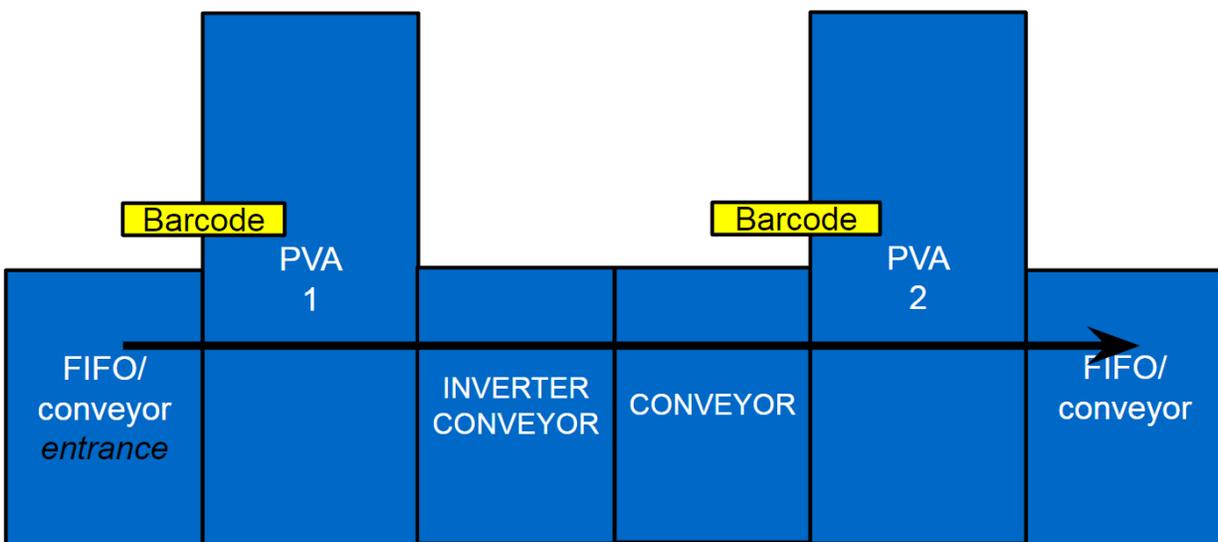


Figura 34 Modelo Completo de Sistema Automático de Barniz en Aerosol

Fuente: Elaboración propia

El flujo de este sistema consiste en los siguientes pasos:

- 1.- Tablero es colocado en el FIFO Buffer y espera su turno para ser barnizado.
- 2.- Escáner de PVA#1 lee el código de la base del tablero y se selecciona el programa.
- 3.- Tablero entra a PVA #1 y se barniza por un lado.
- 3.- Tablero sale de PVA#1.
- 4.- Tablero entra al Inversor, se voltea y sale del Inversor.

5.- Tablero pasa por conveyor y PVA#2 escanea la base del tablero y se selecciona el programa.

6.- Tablero entra a PVA#2 y se barniza por el segundo lado.

7.- Tablero sale de PVA#2.

8.- Tablero entra a segundo FIFO Buffer y permanece ahí hasta que el operador lo remueve.

5.4.2. Recomendaciones

El siguiente paso para automatizar completamente el proceso, es terminar de automatizar el subproceso de Cubrimiento de Áreas Libres de Barniz y la Inspección.

En la primera ronda de mejoras no fue posible implementar el adhesivo desprendible Dymax, pero aún falta evaluar otros adhesivos o incluso otras máquinas que permitan eliminar la intervención del operador en el subproceso.

La Inspección de barniz no se consideró dentro de los subprocesos a mejorar debido a 2 razones:

- El soporte de Inspección es el Departamento de Calidad
- Requerimientos de Inspección son simples y exigen poca exactitud

Sin embargo, a lo largo de los meses, se descubrió que los inspectores tardaban de 30 a 45 minutos inspeccionando el barniz y marcaban como defecto cualquier condición en el tablero que se viera “raro”. Por lo que una recomendación para completar el proyecto de mejoras del proceso de barniz exitosamente, es negociar con el Departamento de Calidad en sustituir al inspector por una máquina que no cometerá errores en criterio y es posible controlar el ambiente de inspección.

REFERENCIAS

- 523-0778764 (2018). Workmanship Standards Manual. Acceptance Criteria. (Estándar de Calidad de Industria Privada). Collins Aerospace.
- 580-5458-001 (2018). Conformal Coating, Acrylic-Based, Application. (Estándar de Industria Privada). Collins Aerospace.
- 946-0D64-002 (2017). Uso de Defelsko PosiTector 6000 Eddy Current Meter. (Instrucción de Trabajo de Industria Privada). Collins Aerospace.
- 946-3878-002 (2018). Aplicación Manual de Barniz Base Acrilico Humiseal 1B31. (Estándar de Industria Privada). Collins Aerospace.
- 946-7787-002 (2018). Aplicación Manual de Barniz Base Acrilico Humiseal 1B31 en Aerosol. (Estándar de Industria Privada). Collins Aerospace.
- Beamish, D. (2019). Coating Thickness Measurement. En DeFelsko: Inspection Instruments. Recuperado de <https://www.defelsko.com/resources/coating-thickness-measurement>.
- Bertelt, F. & Stumpf, C. (2015). Automated Coating Process for Heavy Components. IST International Surface Technology. 8(1), 20-21. doi: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s35724-015-0506-x>. Recuperado de la base de datos Springer.
- Diamond-MT (2018). Types of Conformal Coating. En Diamond-MT. Recuperado de <https://www.paryleneconformalcoating.com/types-conformal-coating>
- Gemci, T. y Chigier, N. (2016) Atomization, Spraying, and Nebulization. Suiza: Springer International Publishing Switzerland. Recuperado de base de datos Springer.
- Gijbels, M. (2018). Efficient and Productive Process for Painting Gearboxes. IST International Surface Technology. 11(2), 6-8. Doi: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s35724-018-0025-7>. Recuperado de base de datos Springer.
- Gooch, J. (2011) Eddy Current. Estados Unidos: Encyclopedic Dictionary of Polymers. Recuperado de base de datos Springer.

- Hart, F (2017). Developing a Conformal Coating Process for Aerospace Applications. En PVA. Recuperado de <https://pva.net/developing-a-conformal-coating-process-for-aerospace-applications>.
- IPC-CC-830B (2002). Qualification and Performance of Electrical Insulating Compound for Printed Wiring Assemblies. En IPC Association Connecting Electronics Industries. Recuperado de <http://www.ipc.org/TOC/IPC-CC-830BwAm1.pdf>
- J. Wagner, AG (2012). From a Manual to a Fully Automatic Coating Process. IST International Surface Technology. 5(2), 22-23. doi: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1365/s35724-012-0078-y>. Recuperado de la base de datos Springer.
- Longley, D. y Shain, M. (1985). Macmillan Dictionary of Information Technology. Inglaterra: Macmillan Press London. Recuperado de la base de datos Springer.
- Miller D.A., Ellenberger D., Gil M. (2016) Spray-Drying Technology. https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/978-3-319-42609-9_10
- Olson, R. (2015). Alternatives in Protective Conformal Coating Processes for Electronic Assemblies. En SCS Coatings. Recuperado de https://scscoatings.com/wp-content/uploads/2015/09/alternatives_conformal_coating.pdf
- Precision Valve and Automation, Inc. (2010). Stent Coating. En PVA. Recuperado de <https://pva.net/stent-coating>
- Precision Valve and Automation, Inc. (2015). PVA Workcell. Installation and General Guidelines. (Manual de Instalación). PVA.
- Precision Valve and Automation, Inc. (2016). PVA Portal. User Manual. PVA.
- Springer Fachmedien Wiesbaden (2016). From Manual to Robotic Coating Processes. IST International Surface Technology. 9(2), 20-21. doi: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1007/s35724-016-0029-0>. Recuperado de la base de datos Springer.