

Sistema Integral de Trazabilidad con Tecnología 4.0 para la Reducción de Merma en Líneas de Maquinado y Ensamble en Piezas de Inyección de Aluminio: Caso Bocar Group México

Ing. Raul Alvarez Valadez¹, MII. Missael Alberto Román-del-Valle²

Resumen—La industria 4.0 integra la producción y las operaciones físicas con la tecnología digital inteligente, aprendizaje automatizado y big data de una industria para crear un ecosistema más holístico y mejor conectado que se enfocan en la manufactura y la administración de la cadena de suministro. Este artículo implementa un sistema de trazabilidad al proceso de Ensamble y prueba de fuga de la pieza de inyección de aluminio Oil Pan en el área proceso maquinado de la planta Auma Lerma del Grupo Bocar. A través de una metodología sistemática orientada a la optimización de procesos y la implementación de dispositivos de trazabilidad de identificación y almacenaje de datos de productos pieza a pieza en el cual se logró controlar el porcentaje de merma por debajo del 0.5% promedio, demostrando la efectividad que tiene el monitoreo y control de la trazabilidad pieza por pieza en los procesos de manufactura.

Palabras clave—Industria 4.0, Trazabilidad, Manufactura, Optimización

Introducción

Actualmente, en los procesos convencionales donde la pieza de inyección de aluminio es maquinada y después ensamblada, ocasionalmente el cliente necesita una certificación que avale que el ensamble y/o la pieza ya sea completa o en ciertas zonas no presente porosidad, la manera más rápida de hacer esta certificación en piezas de alta producción es mediante una prueba que se le nombra prueba de hermeticidad. El principio básico para realizar un proceso de prueba de hermeticidad consiste en sellar la pieza y/o la parte de la pieza a inspeccionar, ingresar aire por medio de equipos especiales para medir hermeticidades, los cuales ingresan aire a la pieza y lo analizan para obtener datos numéricos de cantidad de fuga en la pieza por medio de algoritmos especializados.

El sellado de la pieza se realiza mediante gomas y/o o-rings, de tal manera que se forma un vacío en la pieza donde no se pueda salir ni perder aire del que se tiene en inspección a menos que sea a través de la pieza (detección de porosidad en la pieza). Considerando lo anterior, hoy día se tienen problemas de trazabilidad de piezas ensambladas, dado que no se cuentan con registros de las piezas buenas hasta el momento de terminar las operaciones, sin embargo, si el proceso falla en estaciones de hermeticidad por problemas con sellos de máquinas, esta pieza se tendría que mandar como merma dado a que no se puede garantizar una pieza con un ensamble correcto.

En el área de maquinado y ensamble, específicamente los procesos de ensamble son por lo regular de las últimas etapas de los procesos productivos, por lo que el porcentaje de merma de una pieza ya ensamblada es de las más costosas, dado que se tiene que mermar la materia prima, todos los costos de manufactura y también de los componentes ensamblados. El no poder reingresar piezas ya ensambladas a procesos subsecuentes por no tener los datos de procesos anteriores obliga a tirar un alto porcentaje de merma que asciende al no menos del 2% mensual en productos de alta producción.

Para dar solución a lo anterior se propone el uso de un sistema de trazabilidad pieza a pieza que permita mejorar los procesos de tal manera que los equipos puedan tomar la decisión sobre los ensambles de las piezas, es decir que cada pieza tenga sus registros para poder reingresar una pieza al proceso una vez que el proceso presente problemas es decir una base de datos inteligente. El presente artículo se compone de 3 apartados principales, la introducción, la descripción del método, así como la implementación y desarrollo; en los cuales se dará a conocer los pasos que se siguieron para la solución del problema.

¹ Ing. Raul Alvarez Valadez, Estudiante de la Maestría en Manufactura Avanzada, Posgrado CIATEQ, A.C, Unidad Estado de México, raulalvarezvaladez@gmail.com (autor corresponsal).

² MII. Missael Alberto Román-del-Valle, Investigador asociado en logística y cadenas de suministro, Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ A.C., Villahermosa, Tabasco, México. missael.roman@ciateq.mx

Descripción del Método

Para aplicar la idea del desarrollo a un proyecto y ofrecer una solución al problema de merma mediante esta solución, se analizaron los posibles proyectos disponibles para la implementación en el desarrollo, que permitiera en tiempo y con presupuesto sostenido para una implementación de mejora real y alcanzable.

La metodología consiste en tres fases, la Fase I que ofrecerá el espacio de solución identificando el área de oportunidad y el proyecto a aplicar, la fase II donde se realizó el diseño y planeación de datos a evaluar y monitorear y la fase III, donde se analizaron los resultados del proyecto aplicado.



Figura 1.- Metodología de aplicación

El objetivo de dicha metodología es desarrollar e implementar un sistema de trazabilidad pieza a pieza con enfoque en la industria 4.0 en las líneas de ensamble y hermeticidad para disminuir el porcentaje de mermas en al menos un 3%. Esto mediante un sistema a prueba de fallos de cada operación registrada y que pueda ser monitoreada en tiempo real remotamente. Así como generar un sistema inteligente de manufactura donde el equipo es capaz de procesar la pieza exactamente en el paso que debe continuar, con el juicio real de la pieza y con una interfaz clara hacia el operario.

Implementación y desarrollo

FASE I. ESPACIO DE SOLUCIÓN.

1. Identificación de la línea y el producto con área de oportunidad.

Se analizaron las piezas donde se tuviera alto índice de merma por mal ensamble y se comparó con piezas similares en los nuevos proyectos para buscar un área de oportunidad donde a la compañía le conviniera invertir al inicio (en el desarrollo del sistema) pero al final poder sustentar las ganancias a mediano y largo plazo. En base a esto se acoto a la búsqueda de una pieza lo más grande posible, dado a que la mayoría de las piezas que se fabrican tienen mucha relación en precio con el peso de la pieza. Para esto se definió como la mejor área de oportunidad a mejorar la pieza

denominada Oil Pan, la cual se trata de una pieza en peso de aproximadamente 3Kg de aluminio y normalmente se utiliza en la parte inferior del motor, es donde se coloca el filtro de aceite y posterior a esta va el Carter del aceite, se analizó el histórico de merma de un modelo similar que actualmente se fabrican y se tienen registro de hasta el 5% de desperdicio, sustentando así la pieza a desarrollar.

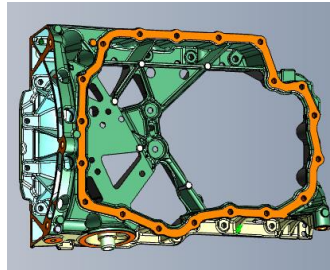


Figura 2.- Imagen de Oil Pan

2. Diseño de un marcaje rentable para trazabilidad.

Para rastrear una pieza, es necesario marcar la pieza de alguna manera, es decir ponerle un nombre y apellido a la pieza; en la actualidad existen un sin fin número de marcajes en la pieza, por ejemplo, siendo las más comunes, pero ya de salida de la industria, los códigos de barras, etiquetas etc. Lo más usado últimamente en la industria automotriz son los marcajes DMC (Data Matrix Code), que a su vez pueden identificar cualquier pieza y casi cualquier persona puede consultarlo usando su celular con una app y/o un escáner manual y que a lo largo de los últimos años se ha venido incrementado las solicitudes de estos en los nuevos proyectos siendo esto, lo más nuevo en los desarrollos.

En este DMC, se puede almacenar casi cualquier información, desde una palabra, un código, una página de internet, hasta almacenar muchos caracteres. De igual forma, pueden ser de varios tamaños y se pueden fabricar por medio de marcadoras laser, marcadoras de percusión y/o etiquetas. Las marcadoras laser para esta aplicación sería la opción más viable para la compañía, sin embargo, resultan ser muy costosas en su adquisición, por lo que se decidió usar un marcaje DMC de 12cm x 12cm, fabricado con percusión (puntos que se graban en la pieza y forman el código deseado). Esto se puede ver en la Figura 3, como que quedó implementado. Otro de los factores que tomamos en cuenta fue el tiempo ciclo de marcado de nuestra pieza no fuera mayor al tiempo tacto del proceso que es de 54 piezas por hora.

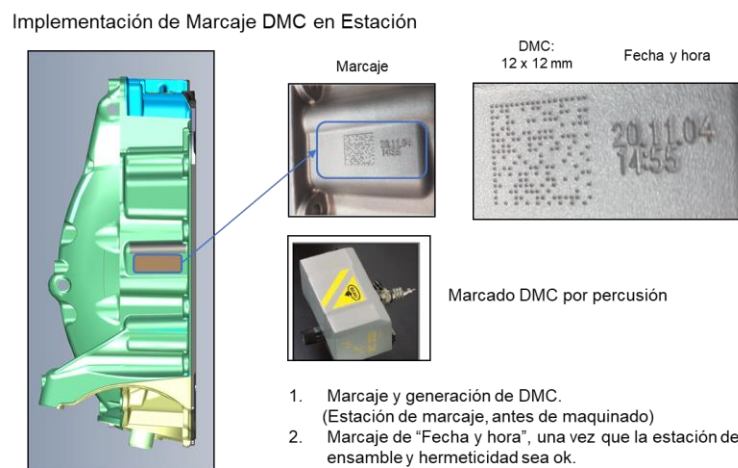


Figura 3.- Implementación de Marcaje DMC en Estación.

3. Diseño del sistema de trazabilidad.

El diseño inicial que se realizó fue aplicable a la siguiente estación de mesa giratoria que se puede ver su funcionamiento en la Figura 4

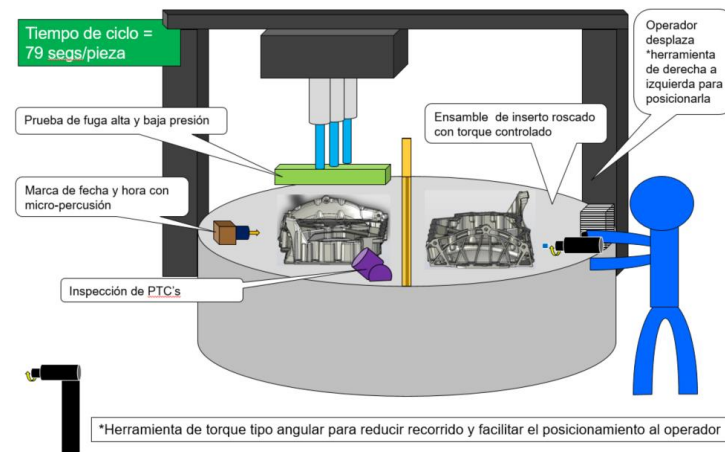


Figura 4.- Diseño de equipo a implementar

Una vez que se tenía la línea a implementar, se comenzó a validar que eran los datos que se queríamos guardar en el sistema de cada pieza:

1. Fecha de Marcado DMC, información de OK o NG (Est. 10)
2. Entrada de línea de ensamble, Lectura OK (Est.40)_Mesa 1
3. Ensamble de Birlo, OK o NG, cuanta fuerza (Est.40) _Mesa 1
4. Pruebas de Barrenos destapados, información de OK o NG (Est. 40) _Mesa 1
5. Pruebas de presencia de cuerdas, información de OK o NG (Est. 40) _Mesa 1
6. Prueba de Hermeticidad Gal 1, información de OK o NG (Est. 40)_Mesa 2
7. Prueba de Hermeticidad Gal 2, información de OK o NG (Est. 40)_Mesa 2
8. Marcaje Fecha y hora, información de OK o NG (Est. 40)_Mesa 2

FASE II IMPLEMENTACIÓN

Para esta esta etapa fue llevada a cabo a lo largo de aproximadamente 6 meses, donde una vez definidos los alcances del proyecto, se tuvieron que emitir orden de compra y esperar los tiempos de los proveedores

Algunos de los cambios significativos al momento de la implementación fue que a lo largo del desarrollo del proyecto el cliente solicitó un aumento considerable de producción teniendo que reestructurar desde un inicio los alcances, el nuevo modelo comenzó a tomar mayor importancia porque ahora se tuvo que integrar 2 máquinas de ensamble las cuales contenían 2 nidos cada uno; es decir tuvimos que diseñar una base de datos que estuviera sosteniendo en tiempo real más de 6 procesos al mismo tiempo.

Para amortizar los tiempos de marcaje se decidió desarrollar una estación extra al inicio del flujo con la creación del marcaje y para no sacrificar tiempo ciclo de las estaciones como quedo en el diseño final lo podemos ver la Figura 3.

FASE III. EVALUACIÓN:

Para poder evaluar nuestros resultados, se dedicó algunos meses siguientes, dado a que al principio se tuvieron más problemas de los que se tenía inicialmente, es decir que la aplicación y el almacenaje de los datos no funcionaba de manera eficiente, dado a que la aplicación es muy compleja y nuestro campo de aplicación es bastante, los modos de falla se multiplicaron, sin embargo se estuvo enfocado a detectar los modos de error del sistema para poder mejorarlos y poder tener una recopilación de datos real y un análisis de que el sistema funciona de manera autónoma y sin errores.

Finalmente, una vez estabilizado el sistema ha funcionado de una manera eficiente y sin errores, gracias a esto se logró analizar cómo mejorar los ensambles hasta casi eliminar este desperdicio del proceso. En la Tabla 1, se observa cada dato respaldado en la base datos electrónica que se creó para el proyecto donde podemos analizar mucha información y poder validar innumerables cosas para mejorar este y algunos procesos similares.

Los datos de la Tabla 1, se almacenan automáticamente de izquierda a derecha desde la generación de nombre de la pieza como el paso por cada una de las estaciones, desde marcado, hasta llegar la estación de ensamble (Est4), guardando así dado por dato el paso de la pieza y las pruebas realizadas a lo largo de todo el proceso productivo hasta su salida en la Estación 5 guardando el estatus de la pieza y la hora de paso por esta.

Si alguna de las pruebas fuera errónea, esto se podría repetir y el equipo es inteligente, de modo que continuará y repetirá en el paso donde debe de continuar.

IDpieza	Fecha_hora	Version_pieza	Estado_general	Ultima_estacion	Est1_Fecha_hora	Est1_Estado	Est1_Mar caje_Esta do	Est1_Lect ura_Inten tos	Est1_Lect ura_Estad o			
#YAM010621005323_05E103601A_0000_	01/06/2021 01:52	OILPAN EA211	1	5	01/06/2021 01:52	1	1	1	1			
Est4_Fecha_hora	Est4_Esta do	Est4_Nipl e_Estado	Est4_Torq ue	Est4_Ang ulo	Est4_Her m_Alta_In tentos	Est4_Her m_Alta_E stado	Est4_Her m_Alta_F uga	Est4_Her m_Alta_Pr esion	Est4_Her m_Genera l_Fuga	Est4_Her m_Genera l_Presion	Est4_fech a	Est4_Hora
01/06/2021 03:51	1	1	50.15	148.56	0	1	-0.388	2.537	0.25	0.527	21.06.01	03:55
Est5_Fecha_hora	Est5_Esta do	Est5_Lect ura_Estad o										
01/06/2021 03:53	1	1										

Tabla 1.- Imagen de tablas de información de datos de cada pieza

Con toda esta información se analizó y comparo que desde la implementación hasta ahora hemos mantenido muy por debajo los valores de merma por mal ensambles asegurando siempre la calidad hacia el cliente.

Comentarios Finales

Resultados

Los flujos del proceso en la implementación muestran que no se necesita tener una línea continua, para almacenar datos en tiempo real, como se puede ver en la figura 5, donde se tienen aproximadamente más de 20 metros desde donde se marca hasta que se vuelve a leer la pieza en las líneas de ensamble.

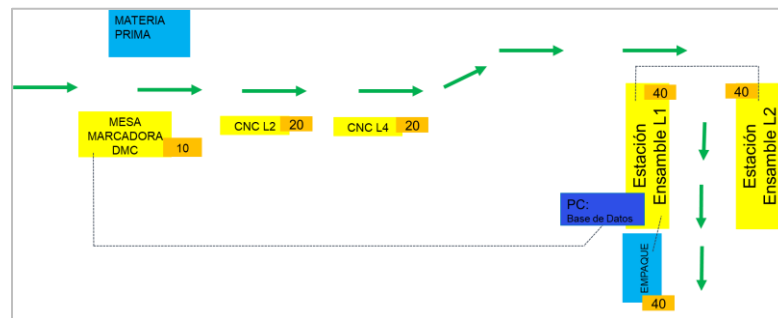


Figura 5.- Flujo de pieza de implementación aplicada

En la Figura 6 en la cual mostramos la producción 2021 desde el comiendo del proyecto ya con las mejoras implementadas y se puede observar que se logró eliminar y contralar los porcentajes de merma en las estaciones de ensamble, siendo lo máximo desarrollado del 1.07%, en los meses que más se produjo.

Finalmente, la propuesta de solución a este caso de estudio ofrece un aporte de interés al ambiente científico debido a que el registro y almacenamiento de datos en procesos autónomos y automáticos en los procesos de ensamble de componentes contribuye directamente a la disminución de porcentajes de merma, abriendo oportunidades a la

implementación de cualquier proceso similar al presente estudio para asegurar la competitividad en un mercado altamente productivo.

PRODUCCION DE OIL PAN 2021

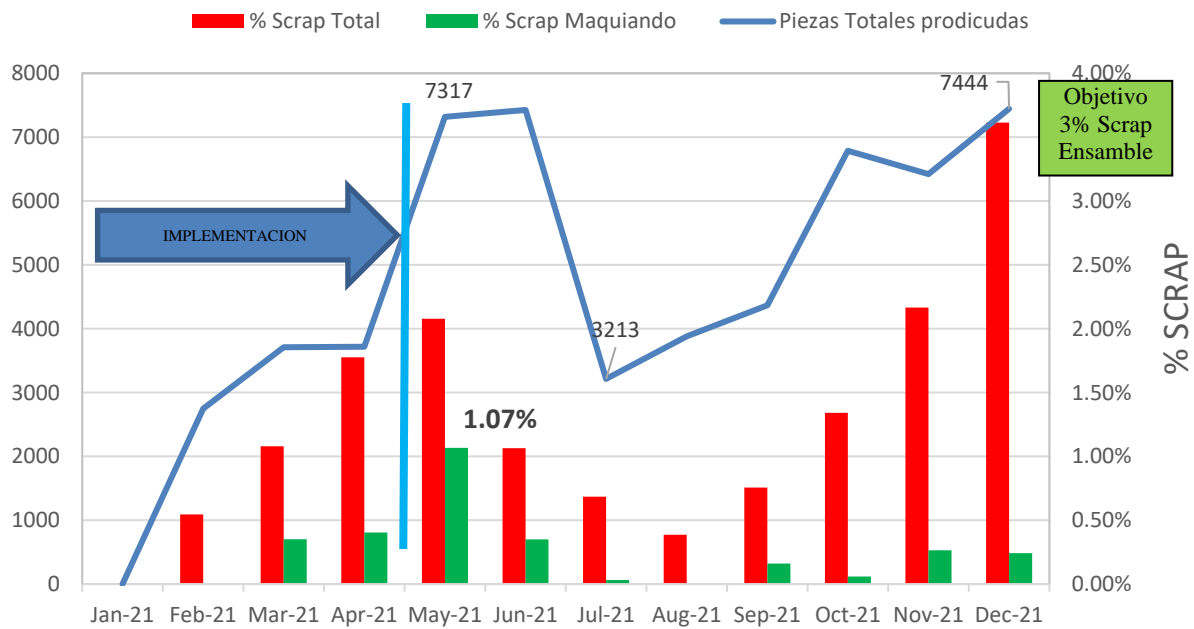


Figura 6.- Grafica de comportamiento de merma 2021

Conclusiones y recomendaciones

El integrar una base de datos Integral, es decir desde maquinado hasta ensamblaje con un registro pieza a pieza es algo que hasta ahora lo hemos tenido como idea, la implementación de esta es exactamente a donde queremos llegar con la tecnología 4.0 obteniendo datos de los equipos CNC, será muy útil para reactivar nueva tecnología en CNC, en equipos que no cuenten directamente con esta interfaz aunado a un candado poka yoke de salto de operación de cada módulo tal y como se puede visualizar en la Figura 7

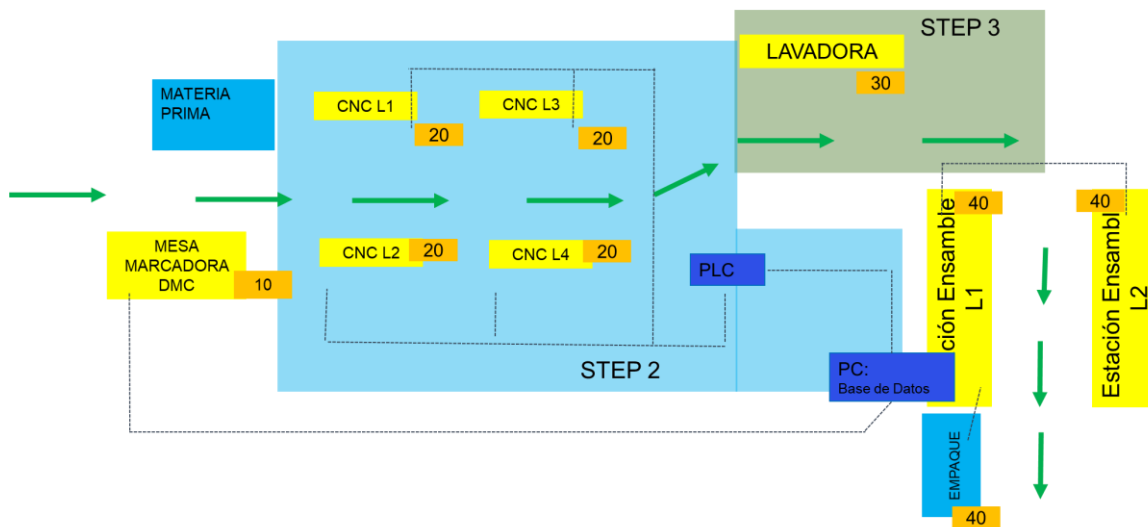


Figura 7.- Interfaz completa con base de datos en maquinado, lavado, ensamble y empaque.

Referencias

- Aguilar-Escobar, V. G., & Garrido-Vega, P. (2013). Gestión Lean en logística de hospitales: estudio de un caso. *Revista de Calidad Asistencial*, 28(1), 42–49. <https://doi.org/10.1016/J.CALI.2012.07.001>
- Automotive Meetings. (2021). *Industria Automotriz en México. Industria Automotriz En México, Un Sector Clave.* <http://mexico.automotivemeetings.com/index.php/es/industria-automotriz-en-mexico>
- José Carlos, Q.-Q., Ernesto, F.-G., & Víctor, Q.-A. (2014). Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(1), 41–50. [https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(15\)30005-6](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(15)30005-6)
- León-Duarte, J. A., Re-Iñiguez, B. M. D. La, Romero-Dessens, L. F., León-Duarte, J. A., Re-Iñiguez, B. M. D. La, & Romero-Dessens, L. F. (2020). Ventajas del uso de sistemas de trazabilidad electrónica en procesos de manufactura. *Información Tecnológica*, 31(1), 237–244. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000100237>
- Neal, A. D., Sharpe, R. G., van Lopik, K., Tribe, J., Goodall, P., Lugo, H., Segura-Velandia, D., Conway, P., Jackson, L. M., Jackson, T. W., & West, A. A. (2021). The potential of industry 4.0 Cyber Physical System to improve quality assurance: An automotive case study for wash monitoring of returnable transit items. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 32, 461–475. <https://doi.org/10.1016/J.CIRPJ.2020.07.002>
- Wang, W., Xu, J., Zhang, W., Glamuzina, B., & Zhang, X. (2021). Optimization and validation of the knowledge-based traceability system for quality control in fish waterless live transportation. *Food Control*, 122, 107809. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2020.107809>
- Wang, X., Fu, D., Fruk, G., Chen, E., & Zhang, X. (2018). Improving quality control and transparency in honey peach export chain by a multi-sensors-managed traceability system. *Food Control*, 88, 169–180. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2018.01.008>

Notas Biográficas

El **Ing. Raul Alvarez Valadez** actualmente es estudiante de la Maestría en Manufactura Avanzada. Posgrado CIATEQ, A.C; Cuenta con 10 años de experiencia en la industria automotriz en el desarrollo y soporte de procesos de manufactura. Actualmente se encuentra laborando en Bocar Group, en cual se encuentra en el área de nuevos proyectos, especialmente el desarrollo de nuevos proyectos del área de Ensamble

El **III. Missael Alberto Román-del-Valle**. Originario de la ciudad de Orizaba en el estado de Veracruz, obtuvo el título de Ingeniero Industrial con especialidad en Manufactura y Confiabilidad en el año 2015, posteriormente se graduó con mención honorífica de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Orizaba, la cual le otorgó el grado de Maestría en Ingeniería Industrial con especialidad en Sistemas de Análisis de Decisiones. Durante su formación académica, fue miembro fundador del Capítulo Estudiantil de Ciencias de la Ingeniería avalado por la Asociación Mexicana de Logística (AML), también ha impartido cursos de Dinámica de Sistemas en logística y procesos industriales, ha participado en la elaboración de artículos y ponencias para el Congreso Internacional de Logística y Cadena de Suministro (CLOG), además de contar con la certificación AML-ProGLOBAL. Actualmente forma parte del Sistema Estatal de Investigadores y trabaja para uno de los Centros Públicos de Investigación del CONACYT, el Centro de Tecnología Avanzada, CIATEQ A.C.; en el cual se desempeña como Investigador Asociado en el área de Logística y Cadenas de Suministro, responsable del laboratorio de sistemas de información.