© Academia Journals 2021

Propuesta de un Método de Marcado Directo de Códigos 2D Data Matrix por Micropunción sobre la Carcasa del Amortiguador CDC

Ing. Jesús Salathiel Sánchez Juárez[1], Dr. Jan Mayen Chaires[2]

***Resumen*—** La identificación permanente de un producto fabricado en una línea de producción se realiza a través del marcado directo del material, el marcado puede realizarse por diferentes tecnologías, como láser, micropunción, ataque químico electrolítico. La tecnología disponible es el marcado por micropunción, con ella se marcan códigos 2D data matrix sobre la carcasa; la legibilidad y características del código marcado son verificadas después del marcado y en los siguientes procesos, a través de un dispositivo electrónico de lectura, para que el producto sea trazado posteriormente en los siguientes procesos. Para evitar problemas de legibilidad se propuso un método de marcado directo por micropunción, maximizando el nivel de coincidencia durante la lectura, optimizando el ángulo del lector y los parámetros de marcado, como la distancia de marcado, el ángulo del punzón, y la fuerza de impacto, para eliminar paros de línea de producción y piezas de descarte por material incorrectamente marcado.

***Palabras clave*—** Ingeniería, tecnología, trazabilidad, legibilidad, ECC 200.

Introducción

El marcado directo de materiales es un proceso tecnológico que modifica directamente la superficie de un producto de forma permanente, identificándolo básicamente con el uso de letras, números u otro tipo de caracteres, pero combinándolo con el uso del código 2D data matrix, el marcado directo de materiales se vuelve altamente efectivo, mejorando la certificación, identificación y trazabilidad de un producto a lo largo de toda la cadena de producción, en este caso, empezando desde la producción de la carcasa, certificándola en la operación final de la línea de soldadura (área de marcado) y trazándola hasta la colocación de la etiqueta final del amortiguador terminado.

El objetivo general es el desarrollo de un método de marcado directo de códigos 2D data matrix por micropunción en la línea de soldadura de amortiguadores de control continuo (CDC, por sus siglas en inglés); el objetivo específico es mejorar la legibilidad del código 2D data matrix a través de la comprobación de la hipótesis nula $H_0 : ML \geq 60$, la variable a maximizar es el nivel de coincidencia (ML, por sus siglas en inglés), con esto se beneficiará el área de soldadura y de montaje, ya que la lectura correcta del código incrementará la efectividad general del equipo (OEE, por sus siglas en inglés), evitando paros de línea; se conocerá el momento exacto de fabricación del producto y se garantizará la trazabilidad y calidad del producto en todas sus etapas.

El identificar correctamente, certificar y trazar un producto muestra ventajas competitivas en el mercado, considerándola como una operación de valor agregado al producto, priorizando la seguridad y calidad del producto, contribuyendo a la lealtad del cliente y fortaleciendo las relaciones entre ambas partes.

Descripción del Método

Antecedentes

La identificación de la carcasa la realizaban primeramente sobre la superficie del tubo depósito por impresión de caracteres con cuños de grabado, posteriormente la migraron al grabado del número de parte por micropunción, pero el producto no tenía trazabilidad; explorando un código con mayor capacidad de información y verificando la posibilidad de utilizar códigos 2D data matrix marcados por micropunción, el código 2D data matrix codifica datos y estos presentan una gran variedad de formas, tamaños y puede ser aplicado en diversos materiales, ahora se usa ampliamente en la industria automotriz, aeronáutica, dispositivos médicos, farmacéutica y electrónica sectores industriales (Ahearne, 2020), desafortunadamente diferentes problemas en la aplicación del marcado afectan los indicadores claves de rendimiento traduciéndolo a pérdida monetaria, por lo tanto surge la necesidad de mejorar y evitar estas pérdidas, y el hecho es que en el proceso de fabricación de las carcasas de los amortiguadores CDC el código 2D data matrix es el testigo final y valida que el producto ha sido terminado satisfactoriamente en esta área, este tipo de método de marcado produce un alto grado de legibilidad el cual es aceptable para identificar componentes (Davies & Jenkins, 2018).

El código 2D data matrix fue desarrollado en el año de 1987 por International Data Matrix, Inc. (Keyence, 2019), la primera versión fue conocida como código data matrix ECC 000, desde su aparición ha sido optimizado para

[1] El Ing. Jesús Salathiel Sánchez Juárez es Alumno de Posgrado en la Maestría en Manufactura Avanzada en el Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ A.C., Guadalajara, Jalisco, México. jesasaju@gmail.com **(autor corresponsal)**
[2] El Dr. Jan Mayen Chaires es Asesor de Tesis en el Posgrado en CIATEQ A.C., Eje 126 No. 225, Zona Industrial, C.P. 78395, San Luis Potosí, S.L.P, México. jan.mayen@ciateq.mx

llegar a convertirse en el año de 1995 en el actual estándar llamado data matrix ECC 200 como refiere Deuil, Nübling y Endres (2007); la Organización Internacional de Normalización en su norma ISO/IEC No. 16022 (2006) no recomienda el uso de versiones anteriores tales como las ECC 000-ECC 140, ya que están llenas de problemas de distorsión en la información codificada. La versión ECC 200 ha sido actualizada y ha mejorado la capacidad de corrección de errores y ha eliminado los problemas de distorsión, esta última versión utiliza el algoritmo de corrección de errores Reed-Solomon, el cual reestablece los datos incluso si el código presenta un daño entre el 30% y el 62% de la superficie, varía dependiendo del tamaño del código, para códigos ECC 200 con menos de 255 palabras de código en total, el algoritmo de corrección de errores Reed-Solomon calcula las palabras de código de corrección de errores a partir de palabras de código de datos sin entrelazado, con más de 255 palabras de código utiliza un procedimiento de entrelazado, debido al tamaño del código 2D data matrix de este documento, las palabras de código es menor a 255 (ISO, 2006).

El código 2D data matrix, código de dos dimensiones se caracteriza por ser un símbolo cuadrado o rectangular formado por puntos claros y oscuros insertados en módulos individuales, los puntos pueden tener una forma redonda o cuadrada, la forma cuadrada del código es preferible ya que facilita la lectura del código como refiere el Instituto Alemán de Normalización en su norma DIN EN 9132 (2008), la figura 1 muestra la representación del código en una cuadricula ordenada de puntos claros y oscuros bordeados por un patrón de búsqueda, el tamaño de los módulos es conocido como dimensión X (GS1, 2018) y los elementos principales de código 2D data matrix se describen a continuación:

- Módulo, es el área sobre la cual se marca el punto y define el tamaño del punto.
- El patrón L, está formado por puntos oscuros en forma de L, es parte primordial de la estructura del símbolo, no deben de existir espacios entre los puntos oscuros y estos deben abarcar toda la altura y ancho del módulo, se utiliza por el lector de códigos para localizar el símbolo, identificarlo en la imagen, verificar su distorsión y el tamaño del símbolo (ISO, 2006).
- El patrón alterno, formado alternadamente por puntos oscuros y claros, determina la estructura básica y el tipo del código, el tamaño del punto y del símbolo, también puede verificar la distorsión del código, el tamaño de los puntos son de igual magnitud que los del patrón L, otra característica de del patrón alterno es un punto claro en la esquina superior derecha, punto característico y distintivo de la versión ECC 200 (Deuil et al., 2007).
- La región de datos codificada, con arreglo de matriz uniforme se encuentra dentro del área interna del símbolo, dentro del patrón L y el patrón alterno (Deuil et al., 2007), para la codificación de los datos se utiliza seis esquemas tales como código ASCII, C40, Texto, X12, EDIFACT y código base 256 (GS1, 2018).

Figura 1. Forma y elementos del código 2D data matrix.
(Deuil et al., 2007; Ahearne, 2020)

- La zona tranquila en el código 2D data matrix es un perímetro alrededor del símbolo, las dimensiones de esta zona tranquila debe ser al menos el tamaño del módulo a los cuatro lados del cuadrado (GS1, 2018), es decir el ancho y alto de un módulo, para aplicaciones con superficies muy brillosas, zonas tranquilas de 2 o 4 veces el tamaño del módulo son recomendables para evitar interferencia durante la lectura (ISO, 2006), los puntos de esta zona tranquila son claros, la zona tranquila es mandatorio en el código y debe

estar libre de marcas, rayaduras, manchas, otros códigos o caracteres, golpes u otro elemento gráfico ajeno al código, ya que esto provocará errores o interrupciones de lectura (Deuil et al., 2007).

Concepto de marcado y lectura

El marcado de códigos 2D por micropunción se realiza a través del estampado continuo de una aguja o punzón, el cual se acciona por la inyección de aire comprimido o electromecánicamente, el punzón de marcado crea depresiones redondas sobre la superficie, estas depresiones son conocidas como puntos (Deuil et al., 2007), la forma, tamaño y separación de los puntos son fundamentales para la legibilidad de los símbolos, principalmente la forma y el tamaño de los puntos está determinado por el ángulo cónico del punzón, la fuerza de estampado, la distancia del punzón a la superficie y la superficie del material (Gravotech, 2013); el relieve del punto marcado debe ser capaz de absorber y reflejar la luz, en piezas metálicas el contraste de los puntos claros y oscuros se crea mediante la iluminación artificial del símbolo, pero también el correcto proceso de marcado asegura que el lector de códigos permita discriminar los puntos claros y oscuros, los puntos deben ser lo suficientemente grande para distinguirse de la propia rugosidad de la superficie a marcar, por lo que la definición del diámetro del punto es directamente proporcional a la rugosidad de las superficies (DIN, 2008), la figura 2 refiere los mínimos elementos para realizar el marcado y la lectura del código.

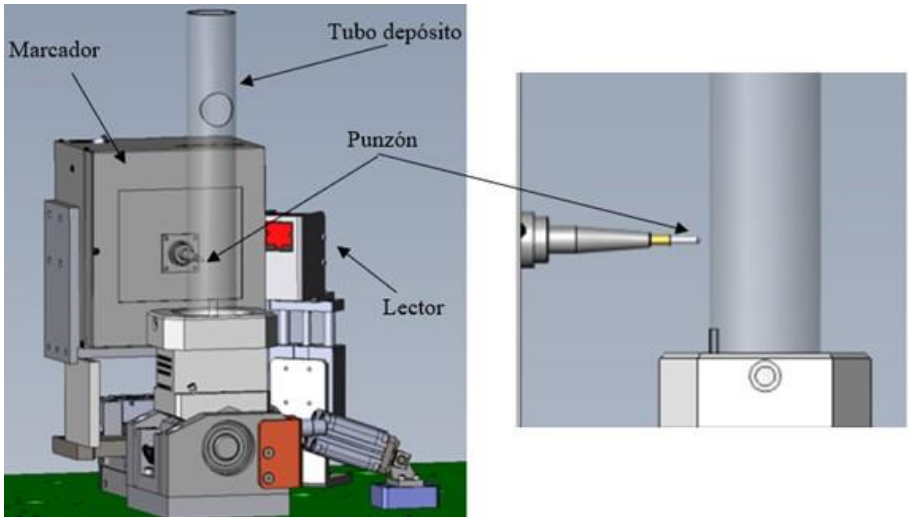

Figura 2. Elementos de un sistema de marcado y lectura.

Tipo de Investigación

Como lo plantea Jankovic, Chaudhary y Goia (2021) los experimentos deben realizarse sistemáticamente utilizando experimentos factoriales, donde varios factores se alteran durante cada ejecución experimental, un experimento factorial cuyo diseño consta de todas las combinaciones posibles de los factores y niveles elegidos se denomina diseño factorial completo; con base a Lynn, Tanner, Ryan, O'Malley y Moore (2020) un diseño factorial completo requiere n^k ejecuciones, donde n es el número de niveles del factor y k es el número de factores que se analizan, su principal ventaja es que proporciona un análisis completo, pero el inconveniente es que requiere muchas repeticiones experimentales, a estos experimentos también se les conoce como diseños factoriales mixtos, un factorial mixto es cuando los factores en el experimento no tienen el mismo número de niveles, hay dos razones del por qué utilizar este tipo de experimentos, la primera es el interés de estudiar los efectos cuadráticos del sistema, ya que se supone que la variable de respuesta no es lineal, ni aproximadamente lineal en el rango de variación de los factores estudiados, la segunda razón es que los factores son discretos y de manera natural tienen tres niveles, como lo refiere Gutiérrez Pulido y de la Vara Salazar (2008, p. 238) con los factores de una máquina.

Muestreo

La matriz factorial del diseño de experimentos factorial completo requiere la ejecución de 72 combinaciones para maximizar el valor de respuesta/variable dependiente (ML); para la optimización de los parámetros y análisis de datos se utiliza el software Minitab® 20.4 Statistical Software (2021); el intervalo de confianza del experimento será de un 95%, los 5 factores/variables independientes se resumen en la tabla 1, y se describen a continuación:

- La distancia entre la punta del punzón y el tubo depósito a marcar, el primer nivel tiene una separación de 3 mm, el segundo nivel de 4 mm y el tercero de 5 mm.

- El ángulo del lector respecto al tubo depósito, el primer nivel es a 0°, el segundo a 30° y el tercer a 45°.
- La pintura, dos tipos de pintura disponibles en planta, pintura por proceso electrostático por aerosol y pintura catafórica KTL por inmersión, la pintura es un factor cualitativo.
- El ángulo de la punta del punzón con dos niveles, el primero con un ángulo de 60° y el segundo de 90°.
- La fuerza de impacto del punzón también consta de do niveles, el primero con el 50% de fuerza y el segundo nivel utilizando el 100% de la fuerza del punzón.

Factor	Nombre	Tipo	Niveles	Valores de Nivel		
A	Distancia	Numérico	3	3	4	5
B	° Lector	Numérico	3	0	30	45
C	Pintura	Texto	2	Elec	KTL	
D	° Punzón	Numérico	2	60	90	
E	Fuerza	Numérico	2	50	100	

Tabla 1. Factores y niveles.

Comentarios Finales

La ejecución del diseño factorial completo permitió conocer completamente el impacto de cada permutación, combinando todos los diferentes niveles y todas las diferentes variables independientes; las técnicas útiles para el desarrollo, análisis e identificación de los principales efectos del diseño experimental involucraron el análisis de varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés),diagramas de Pareto, gráficas de interacción de los factores y la comprobación de los supuestos de normalidad, de varianza y de independencia de errores.

Resumen de resultados

Utilizando el ANOVA, el diagrama de Pareto y las gráficas de interacción se logró determinar cuáles factores tienen mayor efecto en el estudio, la tabla 2 identifica y resalta en color gris el efecto relacionado entre los factores y con las interacciones hasta el orden 2 de los factores, si el valor-P es menor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que el efecto correspondiente es estadísticamente distinto de cero, entonces tal efecto esta activo e influye de manera significativa en la respuesta, mientras más pequeño es el valor-P de un efecto, este tendrá un mayor nivel de importancia (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008, p. 172); el cuadrado medio del erro estándar CM_E es de 256.67 y los grados de libertas del error deben ser al menos de 8 para tener un ANOVA más confiable, en este caso son 45.

Fuente	Grados de Libertad	CM Ajustado	Valor-P
Modelo	26	1215.33	
Linear	7	1608.32	
Distancia	2	1036.85	0.024
° Lector	2	1619.68	0.004
Pintura	1	91.13	0.554
° Punzón	1	147.35	0.453
Fuerza	1	5706.68	0
Interacciones 2-Vías	19	1070.55	
Distancia*° Lector	4	183.01	0.587
Distancia*Pintura	2	35.54	0.871
Distancia*° Punzón	2	2071.85	0.001
Distancia*Fuerza	2	819.68	0.05
° Lector*Pintura	2	933.79	0.034
° Lector*° Punzón	2	1310.85	0.01
° Lector*Fuerza	2	210.76	0.446
Pintura*° Punzón	1	2701.13	0.002
Pintura*Fuerza	1	183.68	0.402
° Punzón*Fuerza	1	5958.68	0
Error	45	256.67	
Total	71		

Tabla 2. ANOVA.

Se realizó la verificación de la capacidad del proceso utilizando la media estimada que fue de 94.5278, la media objetivo de la hipótesis es de 60, para determinar el valor de la desviación estándar se utilizó el valor del cuadrado medio del error $CM_E = 256.67$, como la varianza prevista es igual al cuadrado medio del error se tiene la siguiente igualdad:

$$\sigma^2 = CM_E$$

en dónde la desviación estándar poblacional es igual a= $\sigma = \sqrt{CM_E} = \sqrt{256.67} = 16.020$, para el cálculo de la capacidad del proceso, se utilizó la siguiente ecuación:

$$Cp_k = \frac{\mu_P - \mu_O}{3\sigma} = \frac{94.5278 - 60}{3 * 16.020} = \frac{34.527}{48.06} = 0.7184$$

La capacidad del proceso para la investigación fue de 0.7184, está claro que este valor debe de mejorar una vez que se aplique el método propuesto; empleando la predicción de respuesta múltiple, la mejor solución sería utilizando una distancia de marcado de 5 mm, el lector con un ángulo de inclinación de 30°, el ángulo de la punta del punzón de 60° y una fuerza de impacto del 50%, la tabla 3 muestra estas condiciones, para el tipo de pintura se pueden considerar ambos, ya que no hay un efecto significativo.

Distancia	° Lector	Pintura	° Punzón	Fuerza
5 mm	30°	Elec/KTL	60	50

Tabla 3. Condiciones del método de marcado propuesto.

Con la predicción de respuesta múltiple también se puede predecir el error estándar, el cual estima la variación en la respuesta media estimada; el intervalo de confianza del 95% para evaluar la estimación de la media estimada y el intervalo de predicción en un rango que probablemente contenga una única respuesta futura para la combinación de las variables seleccionadas, como se muestra en la tabla 4.

Respuesta	Media Estimada	Error estándar	Intervalo de confianza 95%	Intervalo de Predicción 95%
ML	94.53	9.81	(74.77, 114.29)	(56.69, 132.37)

Tabla 4. Predicción de respuesta

Para reafirmar la solución propuesta se analizó el valor de la deseabilidad compuesta (D) para evaluar que tan bien la configuración optimiza el conjunto de respuestas, la deseabilidad compuesta tiene un rango de 0 a 1, mientras más alto es mejor, la figura 3 confirma que el valor de $D = 1$, para el método definido.

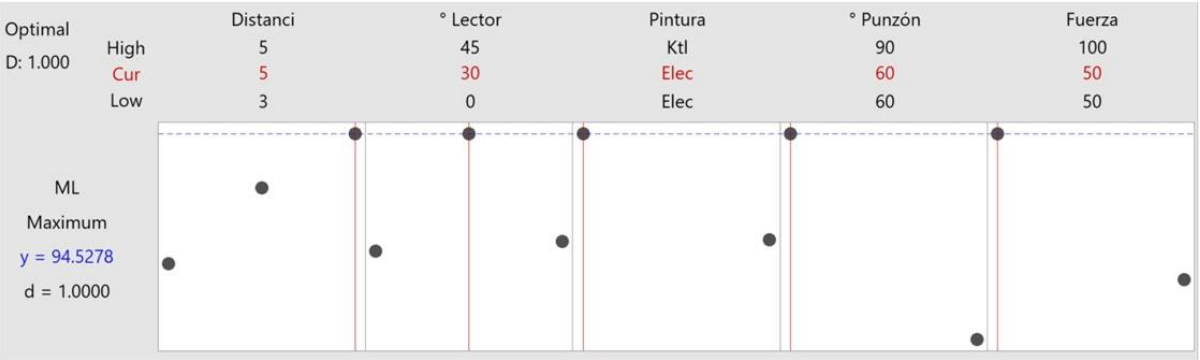

Figura 3. Deseabilidad compuesta vs método.

Cabe resaltar que los supuestos de normalidad, de varianza y de independencia de errores también se cumplen.

Conclusiones

Los resultados demuestran que con la propuesta de aplicación de un método de marcado directo de códigos 2D data matrix por micropunción, el nivel de coincidencia (ML) en un intervalo de confianza del 95% será mayor a 60, retomando la hipótesis planteada al comienzo de este estudio $H_0 : ML \geq 60$, ahora es posible afirmar que la

hipótesis se satisface, ya que los datos parecen apoyarla, es indispensable respetar los parámetros propuestos ya que la ausencia de alguno de ellos afectará la legibilidad del código.

Maximizando el nivel de coincidencia del lector (ML) se mejorará también por consiguiente el indicador clave de rendimiento OEE, ya que se evitarán paros de línea por códigos ilegibles, con esto el objetivo general y el específico se cumplen.

Recomendaciones

Los resultados de este estudio tienen una serie de implicaciones importantes para la futura práctica del grabado de códigos 2D data matrix por micropercusión, la implementación de la mejor solución de marcado es altamente recomendable en el resto de las líneas de soldadura, y el mejor ángulo de lectura también debiera ser implementado en las líneas de montaje y en las líneas de ensamble final, pero para esto, una serie de cambios importantes necesitan ser realizados antes de la implementación, tales como, una planeación de las líneas críticas y priorizar entre ellas, definir los nuevos elementos mecánicos para la sujeción del lector, definir como la distancia de marcado será un valor constante y la nueva programación del controlador del marcador con los nuevos parámetros.

Sería muy interesante realizar una investigación incluyendo los tres tipos de ángulos de la punta de punzón en estudios posteriores, para dejar claro el comportamiento de esta variable independiente respecto a la variable dependiente, ya que son los únicos tipos de punzones recomendados por la Organización Internacional de Normalización.

Una investigación adicional en este campo sería de gran ayuda para definir nuevos métodos de marcado de códigos, pero utilizando otro tipo de tecnología, por ejemplo, el marcado por láser, utilizando una metodología de investigación similar, para conocer las ventajas y desventajas entre ambas tecnologías, así como el costo beneficio, ya que la tecnología láser requiere mayor inversión para la adquisición de los equipos, este tipo de investigaciones futuras deberán tener en cuenta el posible marcado del código 2D sobre los amortiguadores ya pintados, sin afectar el período de vida útil de la pintura.

Referencias

Ahearne, E. (2020). Engineering the surface for direct part marking (DPM). *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, *29*, 1–10. https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2020.01.003

Davies, D. P., & Jenkins, S. L. (2018). Characterisation of automated part marking methods for use in helicopter component identification. *International Journal of Fatigue*, *110*(October 2017), 71–80. https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2018.01.004

Deuil, D., Nübling, S., & Endres, F. (2007). *Competence Guide Direct Part Marking*. 120. https://cdn.sick.com/media/docs/1/01/101/Special_information_Competence_Guide_Direct_Part_Marking_en_IM0058101.PDF

DIN. (2008). *DIN EN 9132:2008 DE - Luft- und Raumfahrt - Qualitätsmanagementsysteme - Data Matrix Qualitätsanforderungen für Teilemarkierung; Deutsche und Englische Fassung EN 9132:2006 (Foreign Standard)*. https://webstore.ansi.org/standards/din/dinen91322008de

Gravotech, I. (2013). *Manual de usuario y mantenimiento del sistema ETG3500*. 1–71. https://www.gravotech.com/products/dot-peen-scribing-machines/xf510p

GS1. (2018). *GS1 DataMatrix Guideline Overview and technical introduction to the use of GS1 DataMatrix*. 8–12. https://www.gs1.org/docs/barcodes/GS1_DataMatrix_Guideline.pdf

Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (Segunda). Mc Graw Hill. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf

ISO. (2006). *ISO - ISO/IEC 16022:2006 - Information technology — Automatic identification and data capture techniques — Data Matrix bar code symbology specification*. https://www.iso.org/standard/44230.html

Jankovic, A., Chaudhary, G., & Goia, F. (2021). Designing the design of experiments (DOE) – An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization of complex systems. *Energy and Buildings*, *250*, 111298. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111298

Keyence. (2019). *Basic Practice of 2D Codes Vol.1 [Types of 2D Codes]*. *1*, 1–20. https://www.keyence.com/download/download/confirmation/?dlAssetId=AS_104546&dlSeriesId=&dlModelId=&dlLangId=&dlLangType=en-US

Minitab 20 Statistical Software. (2021). *Paquete de software de herramientas estadísticas y de análisis de datos | Minitab*. https://www.minitab.com/es-mx/products/minitab/

Sean Lynn, A., David Tanner, B., Alan Ryan, C., Philip O'Malley, D., & Sean Moore, E. (2020). A comparison between predictive modelling approaches for spirally reinforced composite catheter tubing using Classical Statistical DOE and a Custom DOE Design. *Procedia Manufacturing*, *51*(2019), 967–974. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.136

Notas Biográficas

El **Ing. Jesús Salathiel Sánchez Juárez** es Alumno de Posgrado en la Maestría en Manufactura Avanzada en el Centro de Tecnología Avanzada CIATEQ A. y actualmente trabaja en la industria automotriz como Ingeniero de Soldadura CoC, dedicado a la investigación, desarrollo y estandarización de procesos a nivel global en la división de amortiguadores.

El **Dr. Jan Mayen Chaires** es Doctor en Ingeniería por la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM). Actualmente es Investigador por México, comisionado a CIATEQ Unidad San Luis Potosí en la línea de investigación en "Recubrimientos Avanzados e Ingeniería de Superficies". Es miembro de los comités Automotriz, Aeroespacial y Salud del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de San Luis Potosí y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores en el nivel 1.