

CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada
Dirección de Posgrado



*Propuesta de un método de marcado directo de códigos
2D data matrix por micropunción sobre la carcasa del
amortiguador [REDACTED]*

TESINA QUE PRESENTA

Ing. Jesús Salathiel Sánchez Juárez
Asesor: Dr. Jan Mayen Chaires

Para obtener el grado de

Maestro en
Manufactura Avanzada

Guadalajara, Jalisco
enero, 2022

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Guadalajara, Jalisco, 18 de Noviembre del 2022.

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico de Posgrado
CIATEQ, A.C.

El abajo firmante, miembro del Comité Tutorial del Ingeniero Jesús Salathiel Sánchez Juárez, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis/tesina, titulado "Propuesta de un método de marcado directo de códigos 2D data matrix por micropunción sobre la carcasa del amortiguador CDC" **autorizo** que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión, con el fin de alcanzar el grado de **Maestría**.

Sin otro particular por el momento, agradezco la atención prestada.

Firma

Dr. Jan Mauren Chaires
Asesor Académico

F31a Revisión: 01-Jun-2021



CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR



GOBIERNO DE
MÉXICO



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



San Luis Potosí, SLP, 29 de noviembre del 2021.

Mtrot. Geovany González Carlos
Coordinador Académico
CIATEQ, A.C.

Por medio de la presente me dirijo a usted en calidad de Revisor del proyecto terminal del alumno

Jesús Salathiel Sánchez Juárez, cuyo título es:

“Propuesta de un método de marcado directo de códigos 2D data matrix por micropunción sobre la carcasa del amortiguador CDC”

Después de haberlo leído, corregido e intercambiado información con el alumno, y realizado los cambios que le fueron sugeridos, puede ser autorizada su impresión, a fin de que se inicien los trámites correspondientes para su defensa.

Sin otro particular por el momento, y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta en beneficio del estudiante y la Institución, agradezco la atención prestada.

Atentamente,

Raúl P.B.

Dr. Raúl Pérez Bustamante



DEDICATORIA

Quiero dedicar el presente documento a mi esposa Nadia, mi pilar y guía de vida de casado, por insistir y alentarme a realizar este posgrado.

También dedico el trabajo a mi mamá Angelina y a mi papá Luis, gracias porque me han guiado desde niño por diferentes sendas, a veces difíciles de transitar, pero con su esmero y dedicación me han hecho llegar hasta donde estoy ahora, siempre llevo sus enseñanzas conmigo.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios, por darme sabiduría, fortaleza, fe, esperanza y amor con su palabra.

A mi esposa Nadia por enseñarme el camino de Dios, y por el tiempo de vida juntos.

A mis padres por haberme criado y educarme de manera excepcional y ayudarme a alcanzar mis objetivos de vida y profesionales.

A mis amigos y compañeros de clase y de trabajo.

A mi asesor por su tiempo y profesionalismo.

A CIATEQ por las asignaturas que nos han impartido.

Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas, (Reina Valera, 1960, Josué 1:9).

* * *

RESUMEN

La identificación permanente de un producto fabricado en una línea de producción se realiza a través del marcado directo del material, este proceso de marcado puede ser llevado a cabo por diferentes aplicaciones, tales como láser, micropunción, ataque químico electrolítico, impresión, por nombrar algunos.

La tecnología disponible es el marcado por micropunción, con ella, se marcan códigos 2D data matrix sobre la carcasa del amortiguador, la legibilidad y características del código marcado son verificadas directamente después del marcado y en los siguientes procesos, a través de un dispositivo electrónico de lectura, es por ello de la importancia de cumplir con los requerimientos de marcado, legibilidad del código 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 que maximizó el nivel de coincidencia durante la lectura, optimizando el ángulo de fijación del lector y los parámetros de marcado, los parámetros de marcado son la distancia de marcado, el ángulo del punzón y la fuerza de impacto, satisfaciendo la hipótesis y eliminando paros de línea de producción y piezas de descarte por material incorrectamente marcado.

Las condiciones del método serán un punto de inflexión en el programa de estandarización de tecnologías y equipos de la empresa, implementándolo a nivel global en las diferentes ubicaciones de la empresa.

Palabras clave: Ingeniería y tecnología, Tecnología e ingeniería mecánicas, Equipo y maquinaria industrial.

ABSTRACT

The permanent identification of a product manufactured on a production line is done through the direct marking of the material, this marking process can be carried out by different applications, such as laser, dot peening, electrolytic chemical attack, printing, to name a few.

The available technology is dot peening marking, with it, 2D data matrix codes are marked on the shock absorber housing, the legibility and characteristics of the marked code are verified directly after marking and in the following processes, through an electronic reading device, is therefore of the importance of complying with the marking requirements, legibility of the code and that the product is traced later in the following processes.

To avoid readability problems, a direct marking method by dot peening was proposed, maximizing the matching level during reading, optimizing the installation angle of the reader and the marking parameters, these marking parameters are the marking distance, the needle angle, and the impact force, satisfying the hypothesis and eliminating production line stoppages and scrap parts due to wrong marked material.

The conditions of the method will be milestones of the company's technology and equipment standardization program, implementing it globally in the different locations of the company.

Keywords: Engineering and technology, Mechanical engineering and technology, Industrial equipment and machinery.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
GLOSARIO	xii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. HIPÓTESIS.....	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. CODIFICACIÓN	6
2.2. CÓDIGO DATA MATRIX.....	7
2.3. DESCRIPCIÓN DEL CODIGO 2D DATA MATRIX.....	9
2.3.1. Características Básicas del código 2D data matrix	9
2.3.2. Estructura del código 2D data matrix.....	9
2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MARCADO	14
2.4.1. Requerimientos mínimos del proceso.....	14
2.4.2. Marcado del código 2D data matrix	14
2.4.3. Condiciones del proceso	15
2.4.4. Selección del equipo de marcado	15
2.4.5. Instrucciones para determinar los parámetros de marcado	16
2.5. CALIDAD EN EL MARCADO DEL CÓDIGO DATA MATRIX.....	27
2.6 LECTURA DEL CÓDIGO DATA MATRIX.....	30
2.7 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	35
3. RESULTADOS	44
3.1. Análisis preliminar	45

3.1.1. Diagrama de Pareto preliminar	45
3.1.2. Análisis de Varianza preliminar	46
3.1.3 Gráfica factorial	47
3.2. Análisis definitivo	49
3.2.1 Diagrama de Pareto definitivo.....	50
3.2.2 Análisis de varianza definitivo.....	51
3.2.3 Capacidad del proceso.....	52
3.2.4 Verificación de supuestos.....	52
3.2.5 Mejor Solución	55
CONCLUSIONES	57
RECOMENDACIONES	59
APORTACIÓN DE LA TESINA	60
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESINA	61
REFERENCIAS.....	62
ANEXOS	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructuras y tipos de códigos.....	6
Figura 2. Tipos de códigos matrix 2D	7
Figura 3. Códigos 2D data matrix con puntos redondos y cuadrados	8
Figura 4. Atributos del código ECC 200.....	8
Figura 5. Código 2D data matrix.....	10
Figura 6. Patrón L	10
Figura 7. Patrón Alterno y Esquina clara.....	11
Figura 8. Datos codificados.....	11
Figura 9. Posición de los datos en un data matrix tamaño 8 x 8.....	12
Figura 10. Código data matrix, 10 x 10 puntos	12
Figura 11. Tamaños de símbolos	13
Figura 12. Zona tranquila	13
Figura 13. Marcado de pieza buena y pieza mala.....	15
Figura 14. Opciones para seleccionar marcador	16
Figura 15. Mínima dimensión X, por rugosidad	17
Figura 16. Rugosidad sobre tubo depósito	17
Figura 17. Ángulos disponibles del punzón.....	18
Figura 18. Ángulo y radio	20
Figura 19. distribución de datos en código 2D tamaño 16 x 16.....	21
Figura 20. Fijación del marcador contra la superficie.....	22
Figura 21. Fijación prohibida	23
Figura 22. Ventana de marcado y punzón.....	23
Figura 23. Actuador neumático.....	24
Figura 24. Distancia entre punzón y tubo depósito.....	25
Figura 25. Fuerza de marcado	25
Figura 26. Velocidad de marcado	26
Figura 27. Fijación de la carcasa	26
Figura 28. Tamaño de punto	27
Figura 29. Porcentaje de Ovalidad	28
Figura 30. Alineación de puntos	28

Figura 31. Distorsión	29
Figura 32. Ejemplos y características del mercado.....	29
Figura 33. Lector SR-2000	30
Figura 34. Criterios de evaluación	31
Figura 35. Distancia de instalación por dimensión X.....	32
Figura 36. Distancia de instalación por área de lectura	33
Figura 37. Dirección del lector	34
Figura 38. Imagen angular del lector	34
Figura 39. Iluminación externa	35
Figura 40. Ejemplo de efecto lineal y efecto con curvatura.....	37
Figura 41. Matriz factorial del diseño experimental.....	39
Figura 42. Banco de pruebas	43
Figura 43. Matriz Factorial y nivel de coincidencia	44
Figura 44. Diagrama de Pareto preliminar	45
Figura 45. ANOVA preliminar y principales efectos.....	47
Figura 46. Gráfica de los efectos principales.....	48
Figura 47. Gráfica de interacciones	49
Figura 48. Diagrama de Pareto definitivo	50
Figura 49. ANOVA definitivo	51
Figura 50. Gráfica de normalidad	53
Figura 51. Residuales versus ajuste	54
Figura 52. Residuales versus orden.....	54
Figura 53. Gráfica de Optimización, Pintura Electroestática.....	56
Figura 54. Gráfica de Optimización, Pintura Catafórica	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ángulo de punzón y aplicación	19
Tabla 2. Radio de punzón y aplicación	20
Tabla 3. Caracteres por marcar	21
Tabla 4. Factores y niveles	37
Tabla 5. Condiciones del método de marcado propuesto.....	55
Tabla 6. Condiciones del método de marcado y lectura propuesto.....	55

GLOSARIO

α : es la significancia predefinida, máximo riesgo para rechazar la hipótesis nula.

2D: dos dimensiones.

ANOVA: análisis de varianza.

Bit: es el acrónimo de dígito binario, puede tener valores de cero o uno.

Byte: es una unidad de datos formada por una secuencia de 8 bits.

Cp_k : Índice de capacidad real del proceso.

Carcasa: es la unión sólida de los componentes exteriores y soldados al tubo depósito, contiene los componentes hidráulicos del amortiguador y permite la fijación al vehículo automotor.

Data matrix: es un símbolo de matriz bidimensional de forma cuadrada con puntos claros y oscuros.

Dimensión X: es el tamaño del módulo.

ECC: son las siglas en inglés de error checking and correcting, es el algoritmo de verificación y corrección de errores que procesa un conjunto de bits de entrada en un conjunto de bits de salida, para recuperar el daño del código.

ML: Nivel de coincidencia de la lectura del código, Matching Level.

Modulo: es el área sobre la cual se marca el punto.

Palabra de código: es el valor de carácter del código 2D data matrix, un nivel intermedio de codificación entre los datos de origen y la codificación gráfica del código 2D data matrix.

Punto: es la celda única en una simbología matricial utilizada para codificar un bit de datos, normalmente tiene una forma cuadrada en el data matrix, pero su forma depende del método de marcado.

Tubo depósito: es el componente único de forma tubular que crea el cuerpo principal de la carcasa.

Valor-P: es la significancia observada, es el área bajo la distribución de referencia más allá del valor estadístico de prueba.

1. INTRODUCCIÓN

En la industria automotriz 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, pero combinándolo con los códigos 2D data matrix es altamente efectiva 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.

La comprobación de la hipótesis en el desarrollo de un método de marcado directo de códigos 2D data matrix por micropunción en la línea de soldadura [REDACTED], por sus siglas en inglés (continuous damping control), beneficiará a la empresa [REDACTED], ya que se conocerá el momento exacto de fabricación del producto y se garantizará la trazabilidad y calidad de este, 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, y si por alguna razón esta calidad se ve afectada, se podrá rastrear rápidamente los lotes de producción para limitar el impacto tanto interno y externo.

1.1. ANTECEDENTES

La identificación de la carcasa se realizaba primeramente sobre la superficie del tubo depósito por impresión de caracteres utilizando cuños de grabado, posteriormente migraron al grabado del número de parte por tecnología de micropunción, pero la información marcada no era suficiente para conocer cuando el producto se había manufacturado y por consiguiente nula trazabilidad,

posteriormente buscaron un código que tuviera la capacidad de contener mayor información y exploraron la posibilidad de utilizar códigos 2D data matrix marcados por micropunción, el código 2D data matrix codifica datos, estos presentan una gran variedad de formas, tamaños y puede ser aplicado en diversos materiales, ahora es usado ampliamente en la industria automotriz, aeronáutica, dispositivos médicos, farmacéutica y electrónica sectores industriales (Ahearne, 2020), desafortunadamente diferentes problemas en la aplicación afectan los indicadores claves de rendimiento traduciéndolo a pérdida monetaria, surgiendo la necesidad de mejorar y evitar estas pérdidas, reto especial para la empresa, con la tarea de direccionar la mejora desde un punto de vista de investigación, desarrollo y aplicación del caso, definiendo y estandarizando un método con herramientas cuantitativas y relaciones hombre/máquina.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El hecho es que, en el proceso de fabricación de las carcasas de los amortiguadores 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). Pero cuando el proceso de marcado es definido a través de la experiencia del ingeniero responsable de la línea, los resultados finales tienden a ser aleatorios y la legibilidad se ve afectada, si esta legibilidad se afecta en la línea de soldadura por un marcado deficiente, por consiguiente, se continuará degradando en los siguientes procesos, como en el siguiente proceso de pintura, el cual adhiere una capa de color negro de 20 a 30 μm , y así secuencialmente en el resto de los procesos de manufactura; una de las características del código 2D data matrix es que contiene datos en forma redundante, incluso con esta ventaja el código no es legible, cuando sucede esto, se ven afectados los indicadores clave de rendimiento de las líneas, por sus siglas en inglés KPI, Key Performance Indicator, es por eso de la necesidad de innovar en el proceso, entonces la capacidad innovadora de las organizaciones es

considerada un factor clave para el éxito en los mercados (Sánchez Tovar et al., 2015).

La problemática no solo es de la planta de México y en este mundo global la comunicación entre compañías ha mejorado, y se ha observado que cada compañía tiene un método diferente, no hay estandarización, estándares que separan lo que es correcto o racional o razonable u objetivo, de lo que es incorrecto o irracional o irrazonable o subjetivo (FEYERABEND, 2008).

Los clientes de la industria automotriz tienden a buscar proveedores/compañías globales para proyectos globales con el objeto de concentrar y unificar su producción con un solo proveedor, global significa procesos, flujos, métodos, tecnología estandarizados, y este grado de requerimiento es el que actualmente se está exigiendo y no es fácil cumplirlo, y sumándole también a cuando se trabaja con diferentes culturas e idiosincrasias, como refiere Puga Villarreal & Martínez Cerna (2008), en cuanto a determinar características que permitan tener una visión estratégica más global para comprender el entorno cambiante y mejorar el desempeño de la organización, entonces la definición de este método será un estándar para ser aplicado metódicamente en las diferentes regiones bajo un método ideal, como refiere Niebel et al., (n.d.) desarrolle el método ideal con herramientas cuantitativas, las regiones de implementación serán primeramente México, y posteriormente el resto de los países como Argentina, Alemania, Corea, China y Eslovaquia, países en donde se encuentra instalada la compañía.

1.3. JUSTIFICACIÓN

La propuesta de formular e implementar un método de marcado directo de códigos 2D data matrix surge de la necesidad de eliminar los actuales problemas en las líneas de soldadura y montaje, estos problemas se reflejan en la legibilidad del marcado, una menor legibilidad afecta el nivel de coincidencia (ML) del lector de código, la lectura es a través de dispositivos/lectores electrónicos instalados en las diversas estaciones por donde se procesa la carcasa; esta problemática

conlleva a mejorar estas condiciones actuales e incrementar la productividad, mejorando la efectividad general del equipo (OEE), reduciendo el descarte de piezas no legibles y por consiguiente también el producto estará validado de una mejor manera, un medio punto o un punto porcentual de incremento del OEE en la compañía pareciera no ser considerable, pero por cada uno de ellos que se logra, significa un incremento significativo de la eficiencia de las líneas, esto debido a que el cálculo del OEE se ve directamente afectado por, el tiempo ciclo de la línea/máquina (tgB), el tiempo de operación planeado (Pz) y el número de piezas producidas (m) incluyendo piezas rechazadas por descarte u otro tipo de condición, este último rubro es en el que se puede influir y se ve afectado cuando se tiene piezas no legibles, es por eso que el porcentaje de mejora puede impactar en un punto porcentual no más, ya que no se podrá influir en el resto de las variables que intervienen en el cálculo de la efectividad general del equipo.

Cabe resaltar que la calidad de marcado de este método será evaluada bajo la regulación de la Organización Internacional de Normalización en la norma ISO/IEC TR No. 29158, en forma paralela también como establece el Instituto Alemán de Normalización en su norma DIN EN No. 9132.

El código 2D data matrix también permite la "identificación de dispositivo único (UDI)" y, en la era de la industria 4.0, esto proporciona acceso a un gemelo digital y datos específicos de la pieza en la nube durante el ciclo de vida de la pieza (Ahearne, 2020), para una oportuna trazabilidad del producto, la trazabilidad es un concepto amplio que se refiere a la práctica de identificar un objeto o elemento de trabajo y acceder a cualquier o toda la información sobre el mismo, en cualquier parte de su ciclo de vida (Schuitemaker & Xu, 2020).

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Formular, proponer, implementar y estandarizar un método para el marcado directo de códigos 2D data matrix por micropunción sobre la carcasa del amortiguador [REDACTED], para trazar los diferentes procesos de manufactura aplicados al producto, identificando e integrando las diferentes variables del proceso.

1.4.2. Objetivos específicos

- Mejorar la legibilidad del código 2D data matrix incrementando el nivel de coincidencia en un 80%, (ML: Matching Level).
- Mejorar el indicador clave de rendimiento incrementando la efectividad general del equipo en un 0.5%, (OEE: Overall Equipment Effectiveness).

1.5. HIPÓTESIS

Aplicando un método de marcado no convencional, maximizará la legibilidad del código 2D data matrix sobre la carcasa sin pintura en la línea de soldadura 8.6 [REDACTED] y sobre la carcasa con pintura en la línea de Montaje [REDACTED], el nivel de coincidencia (ML) será mayor o igual a 60.

$$H_0 : ML \geq 60$$

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CODIFICACIÓN

La diversidad de códigos disponibles en la industria es amplia y puede ser dividido principalmente en tres estructuras de códigos, 1D, 2D y OCR/OCV, cada una de estas estructuras a su vez puede dividirse en varios tipos de códigos, por ejemplo, a la estructura de códigos de barra, código 1D le pertenecen los tipos de código intercalado 2/5, código 39, 128, EAN 13, de manera general cada una de las estructuras de código y sus tipos de códigos, presentan propiedades y características particulares, y dependiendo de ellas, la codificación se vuelve particular a un determinado tipo de industria.

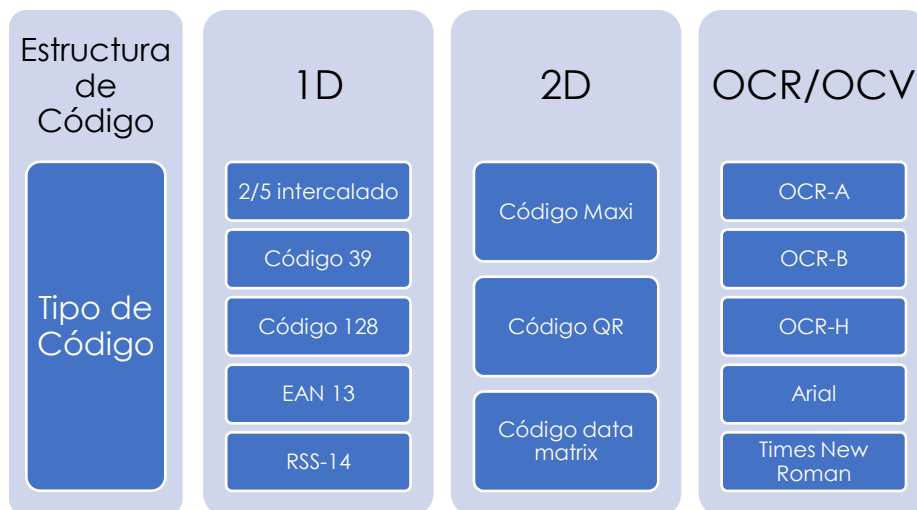


Figura 1. Estructuras y tipos de códigos (Deuil et al., 2007)

La estructura de código 2D tiene diferentes tipos de códigos, diferentes nombres, capacidad de información, tamaño de símbolo, características especiales y sector industrial en donde se aplican los tipos de códigos matrix con estructura 2D. El tipo de código de este documento es el código data matrix ECC 200 con estructura de código matrix 2D, el código 2D data matrix ECC 200 ofrece diferentes tamaños de código, redundancia de datos y una densidad de información amplia, debido a sus características físicas es fácilmente identificarlo del resto de códigos 2D.

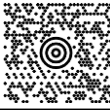



Código	Nombre	Máxima Cantidad de caracteres				Tamaño	Estándar	Aplicación
		Numéricos	Alfa-numéricos	ASCII	ISO			
	Código Maxi	138	-	93	93	28.14 x 26.65 mm	ISO/IEC 16023	Logística
	Código QR	7089	4296	-	2953	21 x 21 hasta 105 x105	ISO/IEC 18004	Automotriz Electrónica
	Código Aztec	3832	-	3067	1914	15 x 15 hasta 151 x151	ISO/IEC 24778	Pases de abordaje Logística
	Código Data Matrix ECC 200	3116	2335	1982	1556	10 x 10 hasta 144 x144	ISO/IEC 16022	Automotriz Electrónica Aviación Farmacéutica

Figura 2. Tipos de códigos matrix 2D (Deuil et al., 2007)

2.2. CÓDIGO DATA MATRIX

El código 2D data matrix o de dos dimensiones se caracteriza por ser un símbolo cuadrado o rectangular formado por puntos 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 (DIN, 2008), la representación del código es una cuadrícula ordenada de puntos claros y oscuros bordeados por un patrón de búsqueda, el tamaño de los módulos es conocido como dimensión X (GS1, 2018).

El código 2D data matrix fue desarrollado en el año de 1987 por International Data Matrix, Inc. (Keyence, 2019b), la primera versión fue conocida como código data matrix ECC 000, desde su aparición ha sido optimizado para llegar a convertirse en el año de 1995 en el actual estándar llamado data matrix ECC 200 (Deuil et al., 2007), esta última versión ECC 200 es la recomendada, como refiere la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2006), versiones anteriores entre ECC 000 y ECC 140 no so recomendadas ya que están llenas de problemas de distorsión en la información codificada.

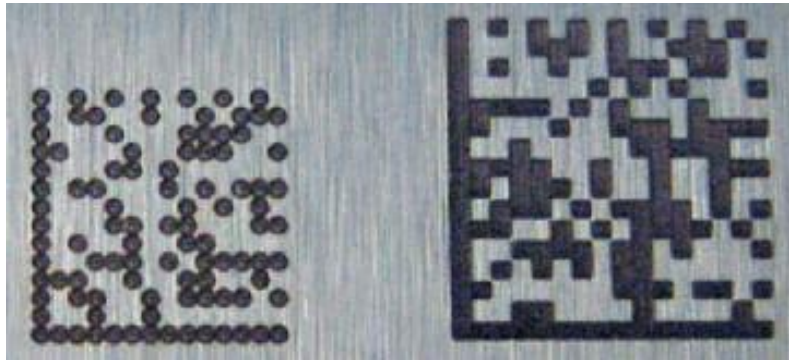


Figura 3. Códigos 2D data matrix con puntos redondos y cuadrados (Deuil et al., 2007)

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, la versión ECC 200 es regulada por la Organización Internacional de Normalización en su norma ISO/IEC No. 16022, para códigos ECC 200 con menos de 255 palabras de código en total. La Figura 4 muestra los atributos de los primeros cinco tamaños de códigos 2D data matrix disponibles en la versión ECC 200, a destacar se encuentra el tamaño del código y su capacidad máxima de datos a almacenar, el tamaño de código 16 x 16 es el que actualmente se está considerando para marcar sobre la superficie del tubo depósito, el anexo A contiene la versión completa de la Figura 4 en inglés.

Tamaño del código		Región de datos		Tamaño del mapeo matrix	Total, de palabras de código		Bloque Reed-Solomon		Bloques entrelazados	Máxima capacidad de datos			% de palabra claves usadas para la corrección de errores	Máximas palabras de código corregibles error/borradura
Renglón	Columna	Tamaño	No.		Datos	Error	Datos	Error		Núm.	Afanúm.	Byte		
10	10	8 x 8	1	8 x 8	3	5	3	5	1	6	3	1	62.5	2/0
12	12	10 x 10	1	10 x 10	5	7	5	7	1	10	6	3	58.3	3/0
14	14	12 x 12	1	12 x 12	8	10	8	10	1	16	10	6	55.6	5/7
16	16	14 x 14	1	14 x 14	12	12	12	12	1	24	16	10	50	6/9
18	18	16 x 16	1	16 x 16	18	14	18	14	1	36	25	16	43.8	7/11

Figura 4. Atributos del código ECC 200 (ISO, 2006)

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).

2.3. DESCRIPCIÓN DEL CODIGO 2D DATA MATRIX

2D data matrix es un símbolo de matriz bidimensional de forma cuadrada con puntos claros y oscuros, el cual permite la codificación de una gran cantidad de datos en pequeñas superficies (Jangsombatsiri & Porter, 2006).

2.3.1. Características Básicas del código 2D data matrix

Las características básicas del código 2D data matrix en la versión EC 200 son (ISO, 2006):

- 1) Codificación de caracteres entre valores de 0 y 255.
- 2) En código binario, un punto oscuro es un número 1 y un punto claro es un número cero.
- 3) El tamaño del símbolo inicia en 10 x 10 puntos hasta 144 x 144 puntos.
- 4) La cantidad de caracteres por símbolo depende de su tamaño, el máximo para un símbolo de 144 x 144 puntos es:
 - a. 3116 caracteres numéricos.
 - b. 2335 caracteres alfanuméricos.
 - c. 1556 Bytes.
- 5) Utiliza el algoritmo de verificación y corrección de errores Reed-Solomon, anexo C.
- 6) Utiliza el tipo de código matrix.
- 7) Su orientación de marcado es independiente.

2.3.2. Estructura del código 2D data matrix

El código 2D data matrix consiste primordialmente en regiones de datos codificados, los cuales contienen los puntos en un arreglo de matriz uniforme y regular, rodeado por un patrón de búsqueda y este a su vez bordeado por un

perímetro de cuatro lados llamado zona tranquila, los puntos que lo conforman son claros y oscuros, estos puntos pueden tener una forma redonda o cuadrada y están insertados en los módulos de la matriz, la Figura 5 muestra un código 2d data matrix con puntos cuadrados (Ike, 2006).



Figura 5. Código 2D data matrix (Ike, 2006)

El patrón de búsqueda es un área perimetral que rodea la región de datos, consta de dos secciones:

- 1) 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, dimensión X, 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).

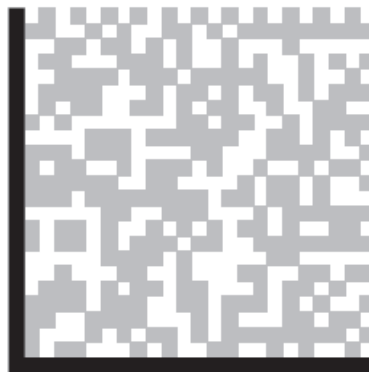


Figura 6. Patrón L (Deuil et al., 2007)

- 2) 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).

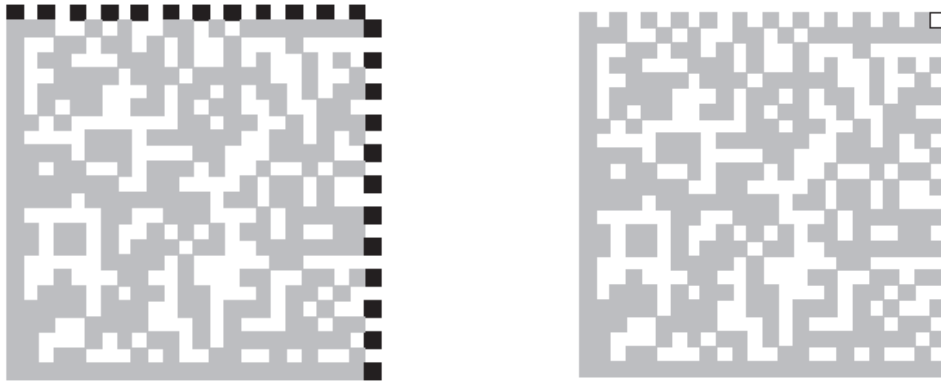


Figura 7. Patrón Alterno y Esquina clara (Deuil et al., 2007)

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), ver anexo B.



Figura 8. Datos codificados (Deuil et al., 2007)

Los datos codificados tienen una posición dentro del símbolo, siguen un patrón en particular y está representado por ocho módulos nominalmente de forma cuadrada generando un byte o una palabra de código, cada módulo representa un bit, los módulos se ordenan de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo para formar un carácter del símbolo, el primer bit es el más significativo y el último es el menos significativo, debido a la forma del carácter algunos módulos se dividen en porciones de datos (ISO, 2006).

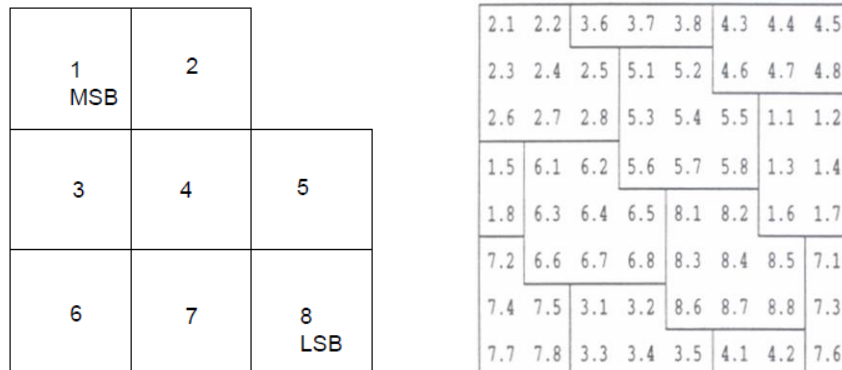


Figura 9. Posición de los datos en un data matrix tamaño 8 x 8 (ISO, 2006)

El tamaño del símbolo depende de la cantidad de datos codificados sin incluir la zona tranquila, se puede fácilmente determinar contando la cantidad de puntos claros y oscuros en el patrón alterno, también es posible determinar el tamaño del símbolo contando la cantidad de puntos oscuros en el patrón L (ISO, 2006).

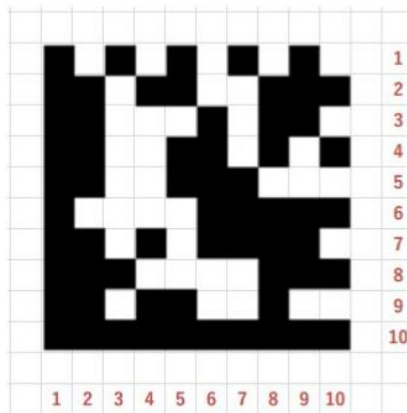


Figura 10. Código data matrix, 10 x 10 puntos (Keyence, 2019c)

El primer tamaño de símbolo disponible en la versión ECC 200 es el de 10 x 10 puntos, el de mayor tamaño es el de 144 x 144 puntos, la Figura 11 muestra los diferentes tamaños de símbolos disponibles, ver anexo A para más detalles.

Tamaño del símbolo																								
Renglón	10	12	14	16	18	20	22	24	26	32	36	40	44	48	52	64	72	80	88	96	104	120	132	144
Columnas	10	12	14	16	18	20	22	24	26	32	36	40	44	48	52	64	72	80	88	96	104	120	132	144

Figura 11. Tamaños de símbolos (ISO, 2006)

El código 2D data matrix debe mantener alrededor de su perímetro una zona tranquila, las dimensiones de esta zona tranquila debe ser al menos el tamaño de la dimensión X 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 la dimensión X son recomendables para evitar interferencia durante la lectura (ISO, 2006), los puntos de esta zona tranquila son claros, en la Figura 12 la zona tranquila se muestra oscura para fines de representación.

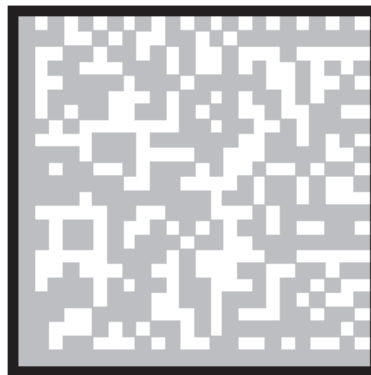


Figura 12. Zona tranquila (Deuil et al., 2007)

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).

2.4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE MARCADO

2.4.1. Requerimientos mínimos del proceso

Con base en la lista de verificación del centro de competencia de la compañía realizada por Unglert (2020), los requerimientos mínimos de equipo y herramental son:

- 1) El marcado de las piezas se debe realizar con aguja o punzón.
- 2) El utillaje debe definir y mantener correctamente la posición de la carcasa.
- 3) El código 2D data matrix debe ser legible antes y después de ser pintada la carcasa.

2.4.2. Marcado del código 2D data matrix

El marcado directo de partes ofrece mayor durabilidad, robustez y flexibilidad del marcado, pero también previene el plagio del producto a manufacturar, ya que es identificado de forma particular, en la industria existen diferentes métodos de marcado directo de partes, los más comunes son el marcado por láser, por micropunción, ataque químico electrolítico, impresión o por puntadas (Deuil et al., 2007). 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 la superficie (DIN, 2008).

2.4.3. Condiciones del proceso

En el flujo de proceso estándar para la fabricación de carcassas, el marcado del código 2D data matrix se realiza en la última operación de la línea de soldadura sobre la superficie del tubo depósito, generalmente el proceso de marcado se realiza en la estación verificadora de hermeticidad de la carcassa y es la confirmación final de que la carcassa es hermética, en el caso de que la carcassa no cumpla las características de hermeticidad, se le marca un símbolo alterno diferente al código 2D data matrix para evitar que continúe procesándose en las siguientes operaciones. El código 2D data matrix se utiliza para trazar el producto en las siguientes operaciones de ensamble.



Figura 13. Marcado de pieza buena y pieza mala
Elaboración propia

2.4.4. Selección del equipo de marcado

Para realizar una operación apropiada de marcado se deben de considerar las características del equipo de marcado, en el mercado existen diferentes dispositivos de marcado, la información a considerar es si el marcado se realizará de forma manual o de forma automática, posteriormente considerar las características del material a marcar, la calidad del código marcado y las condiciones del medio ambiente que rodea el proceso de marcado, ya que el

marcado por micropunción genera altos niveles de ruido y la inversión inicial del marcador varía dependiendo el modo de operación.

Micropunción		
Modo de Operación	Manual	Automático
Materiales marcables	Aluminio, Cobre, Acero al carbono, Acero inoxidable, Oro, Plata, PVC	
Calidad del marcado	Promedio	Buena
Exposición al ruido	Alta, 85 dB o más	
Inversión	Baja	Alta

Figura 14. Opciones para seleccionar marcador (Deuil et al., 2007)

Las marcas de equipos por micropunción con accionamiento neumático que se pueden encontrar en la industria son Telesis y Gravotech, equipos electromagnéticos de la marca Sick Marking también están disponibles, cada uno de ellos cuentan con ventajas y desventajas las cuales deben de ser consideradas por el usuario final, estas no se tocarán en el presente documento ya que el equipo disponible en la compañía es un equipo marca Gravotech serie XF510Cp.

2.4.5. Instrucciones para determinar los parámetros de marcado

Con base a DIN (2008) la siguiente secuencia de pasos se recomienda seguir para el correcto marcado de un código 2D data matrix:

- 1) Definir el tamaño de la dimensión X.

La dimensión X define el tamaño del módulo, el módulo es el área en donde se marcará el punto oscuro o claro, la forma del módulo es cuadrada, la mínima dimensión X debe ser definida tomando con base a la rugosidad superficial del material a marcar, mientras más rugosa sea la superficie mayor debe ser el tamaño de la dimensión X, físicamente esta dimensión se proyecta sobre la superficie por el punzón de marcado, punzón con punta cónica.

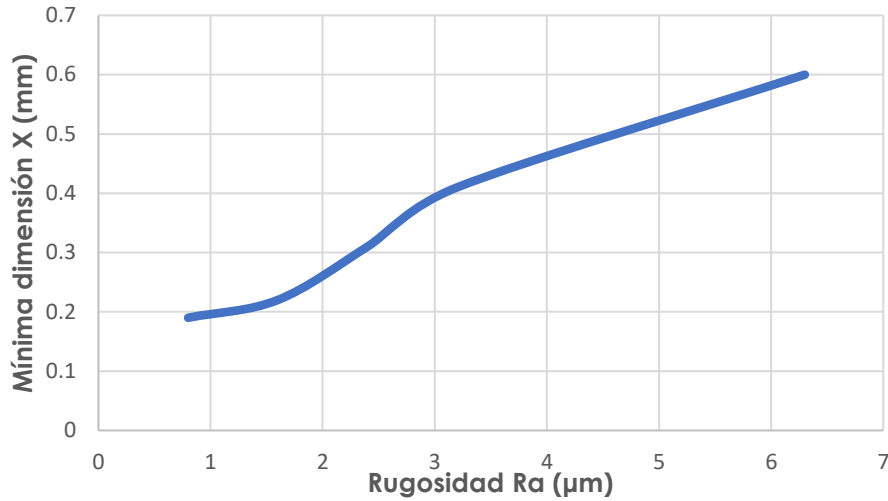


Figura 15. Mínima dimensión X, por rugosidad (DIN, 2008)

Verificando las características de rugosidad permitidas sobre la superficie del tubo depósito, material a marcar, se determina que esta característica no está especificada dentro los [REDACTED] (Padfield & Grasse, 2012), sin embargo, se realizan varias mediciones con un rugosímetro, para determinar la rugosidad actual sobre un tubo depósito, obteniendo valores entre 0.58 y 0.85 µm.

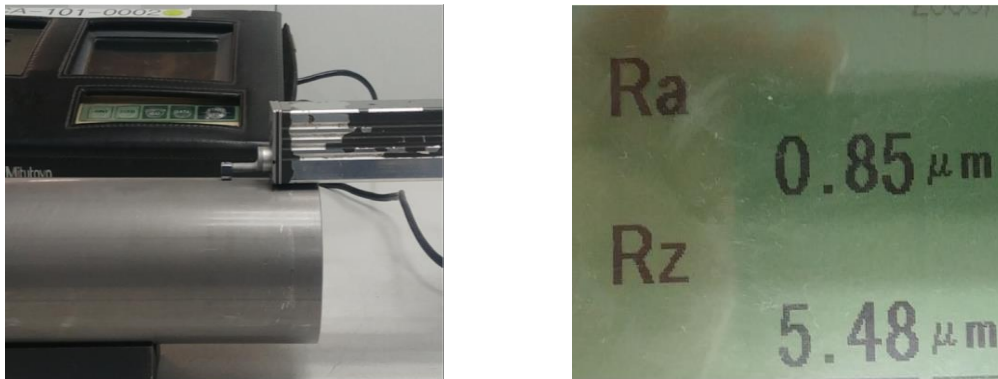


Figura 16. Rugosidad sobre tubo depósito
Elaboración propia

Considerando como referencia el mínimo valor obtenido de 0.58 µm, se puede determinar que la rugosidad actual del tubo depósito no es un impedimento para marcar puntos con dimensión X mayor a 0.1 mm, sin embargo, el actual equipo de

marcado por micropunción no tiene esa resolución de marcado, equipos de marcado por láser tienen este tipo de capacidad y precisión (Li et al., 2016).

2) Definir el tipo de punzón para marcar.

La definición del tamaño y de la profundidad del punto depende del tipo de punzón a seleccionar, tres tipos de punzones están disponibles, la diferencia entre ellos es el ángulo α de la punta del punzón, los ángulos disponibles son 60° , 90° y 120° (DIN, 2008).

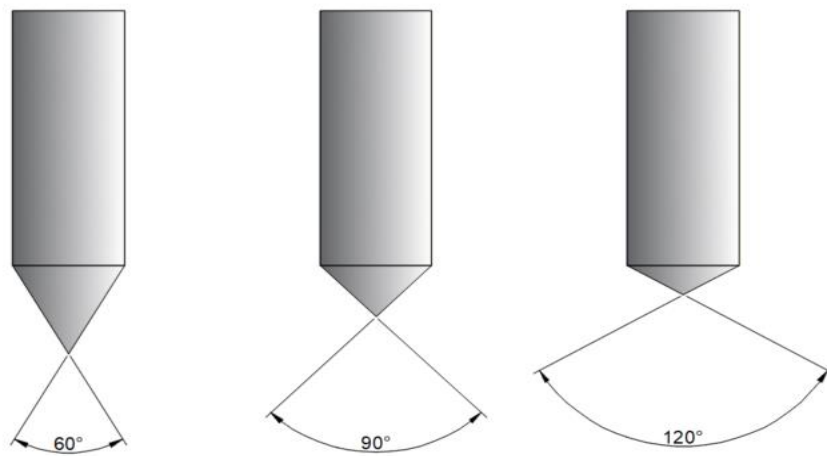


Figura 17. Ángulos disponibles del punzón
Elaboración propia

Las características en el marcado del código 2D data matrix varían dependiendo en el ángulo seleccionado, la profundidad del punto tiene un alto impacto en como la luz se absorbe y refleja, mientras más profundos sean los puntos del código, la legibilidad aumentará al momento de realizar el proceso de lectura (Deuil et al., 2007). Un ángulo de 60° permite marcar caracteres y códigos 2D data matrix pequeños, el marcado es profundo, pero el desgaste de la punta es muy rápido en materiales muy duros; con 90° , valor medio disponible, es un ángulo de frontera que ofrece tamaño de marcado mediano, el marcado de códigos 2D data matrix pequeños se ve comprometido; con 120° el tamaño del marcado es grande, se recomienda su uso para superficies rugosas y por tener un ángulo mayor el periodo de vida útil del punzón es mayor (Gravotech, 2017), la tolerancia del ángulo de la

punta del punzón debe ser de +/- 1° (Gravotech, 2012), aunque DIN (2008) permite una tolerancia de +/- 2°.

Tabla 1. Ángulo de punzón y aplicación

Aplicación	60°	90°	120°
Caracteres pequeños	X	x	
Data matrix Pequeños	X	x	
Data matrix Grandes		x	X
Marcado Profundo	X	x	
Superficie rugosa		x	X

(Gravotech, 2017)

Otra característica del punzón a considerar es el radio R de la punta, dependiendo en la necesidad de aplicación, el tamaño del radio puede variar, un radio de 0.1 mm se considera filoso y permite marcar caracteres pequeños con puntos profundos sobre materiales con superficies de baja rugosidad; 0.2 mm de radio es especial para marcar códigos 2D data matrix con puntos profundos y 0.5 mm de radio está disponible para ser utilizado en materiales de alta rugosidad (Gravotech, 2017) la tolerancia del radio no debe exceder el 10% del valor del radio seleccionado (DIN, 2008).

Ambas características del punzón, el ángulo α y el radio R deben de mantenerse dentro de especificación con el objeto de cumplir con las características del marcado y la aplicación para la cual han sido seleccionadas.

Tabla 2. Radio de punzón y aplicación

Aplicación	0.1	0.2	0.5
Superficie de baja Rugosidad	X	X	
Superficie Rugosa			X
Marcado Ligero	X		
Caracteres Pequeños	X		
Data Matrix		X	
Marcado profundo	X	X	

(Gravotech, 2017)

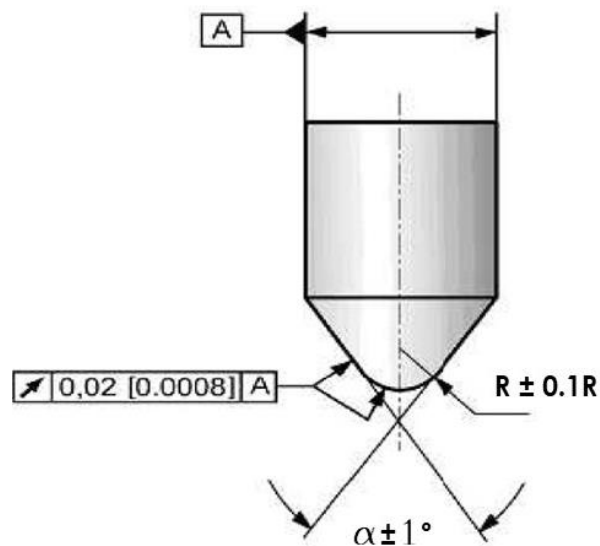


Figura 18. Ángulo y radio (DIN, 2008)

3) Definir el tamaño del código 2D data matrix.

El tamaño del código 2D data matrix depende de la cantidad de información codificada, 17 caracteres son los que se deben de considerar para la correcta trazabilidad de las carcasas del amortiguador ██████████, para marcar y contener 17 caracteres en un código 2D data matrix se necesita al menos un tamaño de código de 16 x 16 puntos.

Tabla 3. Caracteres por marcar

Información	Nomenclatura	Ejemplo
Últimos 4 dígitos de la carcasa	XXXX	6022
Día Juliano	JJJ	154
Año de Manufactura	YY	21
Hora	HH	15
Minuto	MM	01
Segundo	SS	05
Línea de soldadura	LL	L5

Elaboración propia

Cada carácter del símbolo se representa por ocho módulos de forma cuadrada, cada módulo es un bit, los módulos oscuros adquieren el valor de 1 y los módulos claros el valor de cero, la codificación de palabras para códigos de tamaño 16 x 16 se distribuye en una matriz, el conjunto de módulos se ordenan de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo para formar un carácter del símbolo, el primer bit es el más significativo y el último es el menos significativo, se repite la secuencia y se crea una matriz de mapeo con esas características (ISO, 2006).

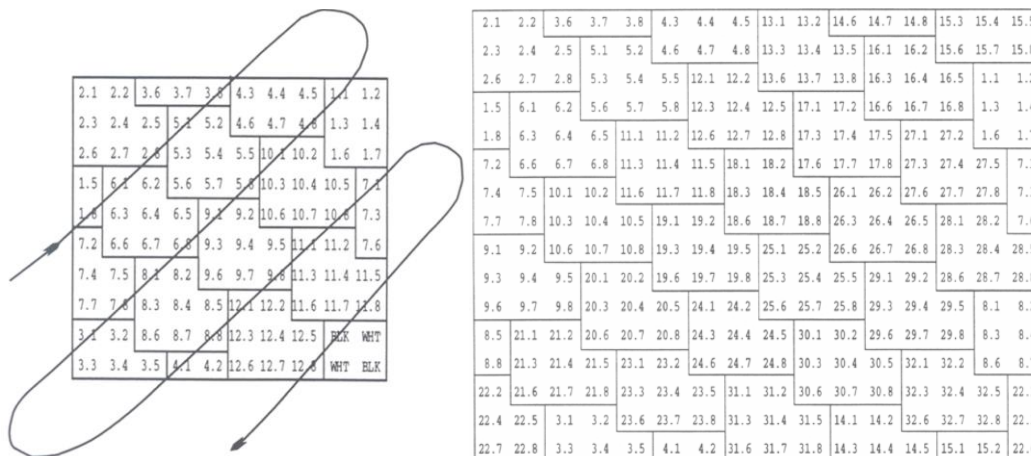


Figura 19. distribución de datos en código 2D tamaño 16 x 16 (ISO, 2006)

4) Definir la configuración del marcador en la máquina.

Para realizar la correcta configuración del marcador en la máquina se deben considerar los siguientes requisitos mínimos, con el objeto de obtener un grabado legible, las siguientes instrucciones de configuración han sido aplicada para un marcador Gravotech serie XF510Cp.

a) Instalación con base a Gravotech (2013).

- La temperatura de operación del equipo no debe ser menor a 5°C, ni mayor a 45°C.
- La presión del suministro de aire debe ser 5.5 Bar como valor mínimo y 6.5 Bar como valor máximo, las características principales del aire son: limpio, seco y sin lubricantes.
- El marcador debe tener una conexión eléctrica a tierra.

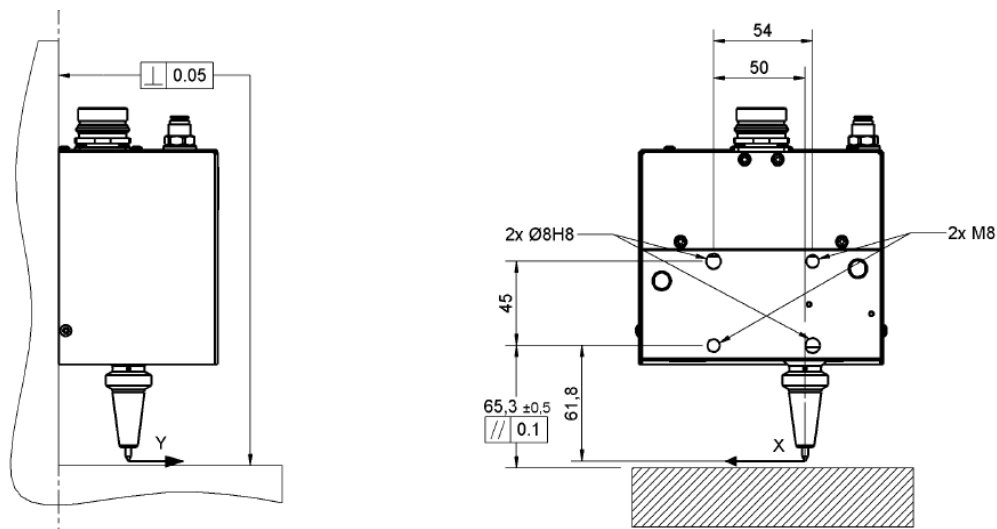


Figura 20. Fijación del marcador contra la superficie (Gravotech, 2013)

- La fijación del marcador a la máquina debe de cumplir con las características de paralelismo y perpendicularidad sobre la superficie de montaje y las tolerancias en milímetros deben respetarse para la correcta operación del marcador.
- No se debe de fijar el marcador en posición vertical hacia arriba, el punzón no debe estar boca arriba.

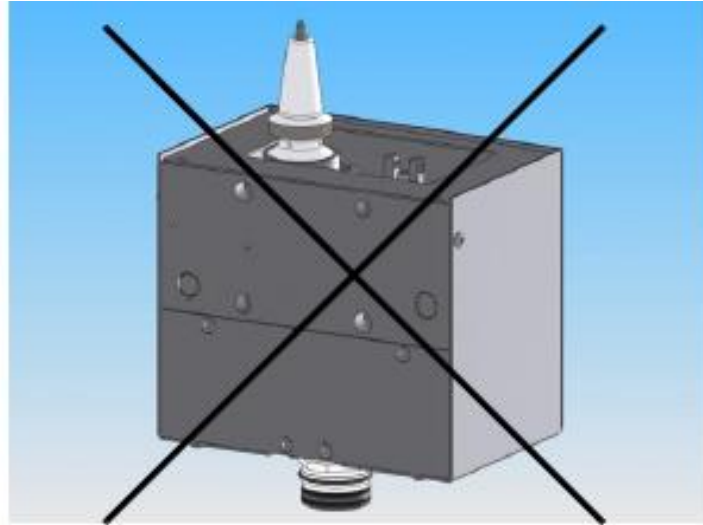


Figura 21. Fijación prohibida
(Gravotech, 2013)

- La ventana/zona libre de trabajo del marcador se debe de colocar en la línea media del tubo depósito tanto en el eje X y el eje Y, para evitar que le punzón trabaje en los límites de la ventana y se tenga mayor flexibilidad al momento de programar la posición del punzón, si no se sigue esta regla, durante la operación del marcado, el punzón trabajará cerca o rebasará los límites de la ventana, el equipo se parará automáticamente.

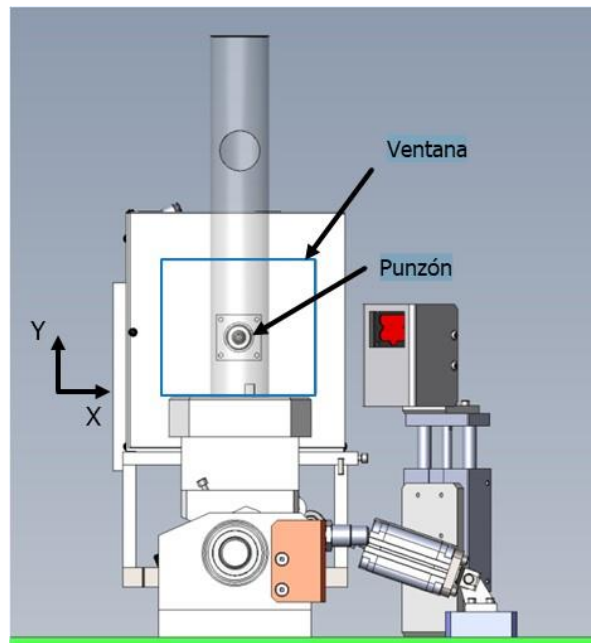


Figura 22. Ventana de marcado y punzón
Elaboración propia

- Dependiendo de las características físicas de la máquina es posible instalar el cabezal de marcado sobre un actuador neumático, con el objeto de tener una posición de casa segura durante la carga y descarga de la carcasa.

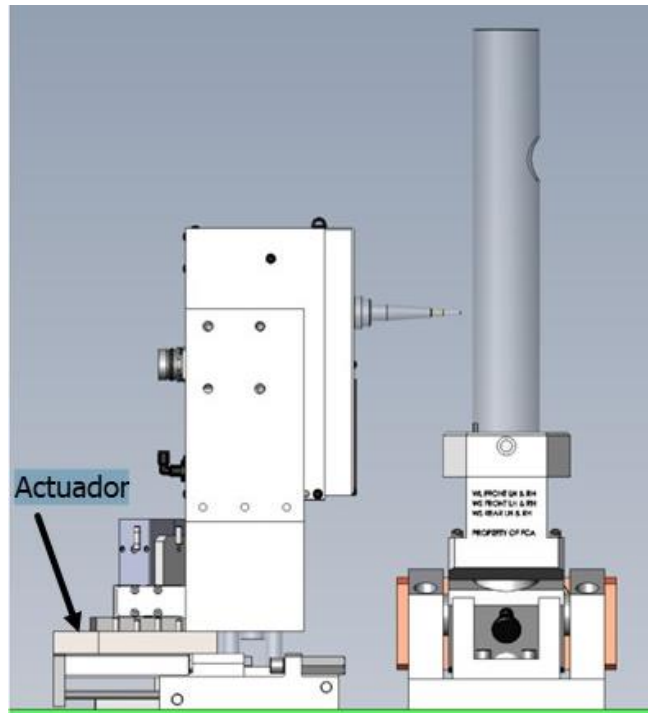


Figura 23. Actuador neumático
Elaboración propia

- b) Distancia de la punta del punzón a el tubo depósito.

Una vez que el marcador ha sido instalado correctamente, se debe definir la distancia del punzón a la superficie a marcar, en este caso la superficie de marcado es el tubo depósito, esta distancia debe ser constante durante el marcado, una distancia constante resultara en una fuerza de impacto constante, 4 mm es lo que se ha definido como valor constante, si esta distancia varia durante el marcado, se obtendrán diferentes imperfecciones en el marcado del código 2D data matrix. La distancia afecta la profundidad de los puntos, una distancia mayor significa un punto más profundo y ancho, pero en exceso originará un marcado ligero o falta de puntos ya que el tubo tiene forma circular, un punzón localizado demasiado cerca de la superficie evita que el punzón no vibre y provoca

deformaciones en los caracteres y en los puntos, puntos con menor profundidad y estrechos(Gravotech, 2013).

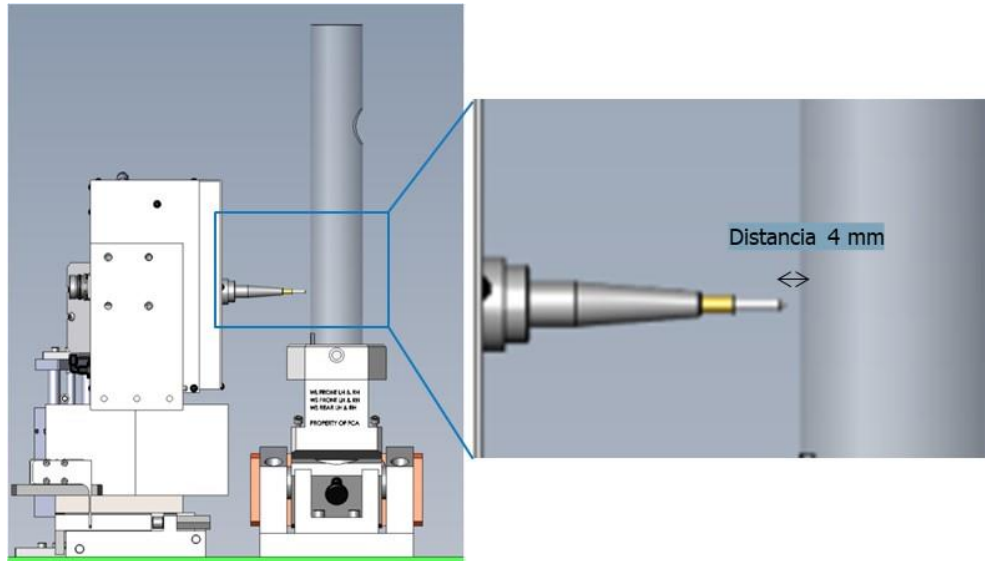


Figura 24. Distancia entre punzón y tubo depósito
Elaboración propia

c) Parámetros de marcado.

El control del marcador tiene la posibilidad de programar valores que afectan la calidad del marcado, esos valores son los parámetros de fuerza y velocidad de marcado, cuando se disminuye o incrementa la fuerza de marcado del punzón simplemente se utiliza una o dos de las electroválvulas disponibles en el marcador, regulando la cantidad de aire comprimido que es introducido a la cámara del punzón (Gravotech, 2013).

Fuerza de marcado	EV 1	EV 2
0%		
50%	Activa	
100%	Activa	Activa

Figura 25. Fuerza de marcado
(Gravotech, 2013)

El valor de la velocidad de marcado se expresa en puntos porcentuales, durante la velocidad de marcado el punzón vibra para marcar la pieza, bajas velocidades de marcado darán como resultado una alta calidad del marcado y viceversa, altas velocidades disminuirán la calidad del marcado, de igual modo el tiempo de marcado se verá afectado (Gravotech, 2013).

Velocidad de marcado	Resultado	Velocidad	Ciclo de marcado
0% hasta 33%	Muy buena calidad	Lenta	Largo
33% hasta 66%	Buena calidad	Rápida	Promedio
66% hasta 100%	Calidad media	Muy rápida	Corto

Figura 26. Velocidad de marcado
(Gravotech, 2013)

d) Fijación de la carcasa en la máquina.

La fijación de la carcasa en la máquina es importante para obtener un correcto marcado de la superficie.

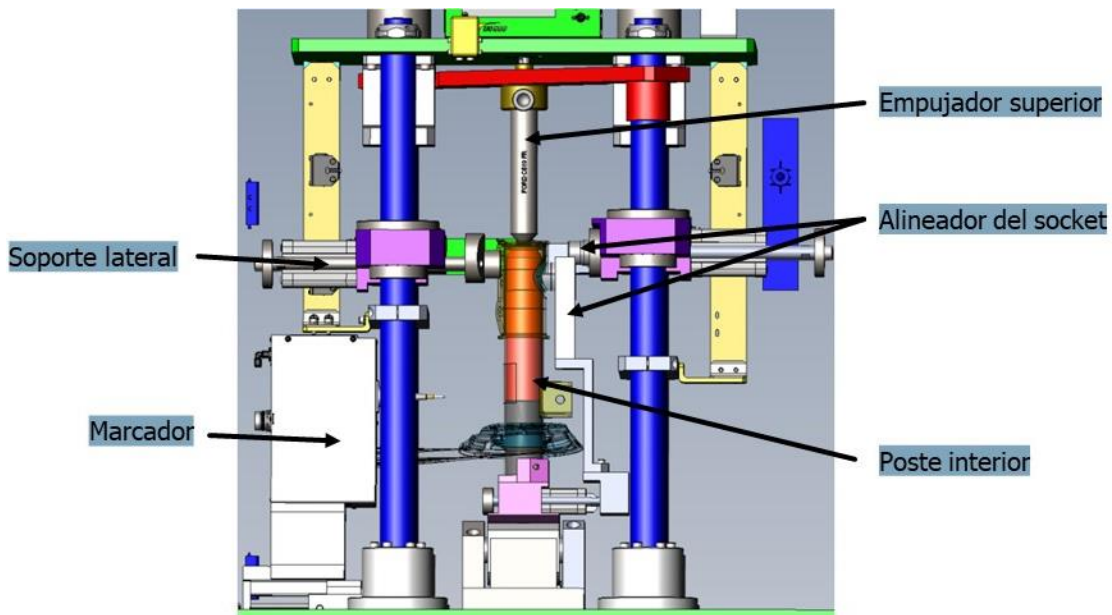


Figura 27. Fijación de la carcasa
Elaboración propia

Si la carcasa presenta movimiento durante el marcado, los puntos del código 2D data matrix se desplazarán, provocando puntos desalineados, ovalados o pequeños, el proceso de marcado se realiza en la estación verificadora de hermeticidad de la carcasa y esta cuenta con diversos puntos de fijación mecánica tales como empujadores y sujetadores internos y externos.

2.5. CALIDAD EN EL MARCADO DEL CÓDIGO DATA MATRIX

Cuanto mayor es la calidad del código 2D data matrix mayor es la fiabilidad del proceso de lectura, la forma del punto depende del método de marcado, el punto ideal debe de insertarse y rellenar perfectamente el ancho de la dimensión X, sin importar que el punto tenga forma redonda o cuadrada, en el caso de que el tamaño del punto no pueda rellenar y mantener la perfecta forma de la dimensión X, algunas desviaciones se pueden considerarse, el tamaño del punto no debe exceder el 105% del tamaño nominal de la dimensión X y no debe ser menor al 60% del valor nominal de la dimensión X (DIN, 2008).

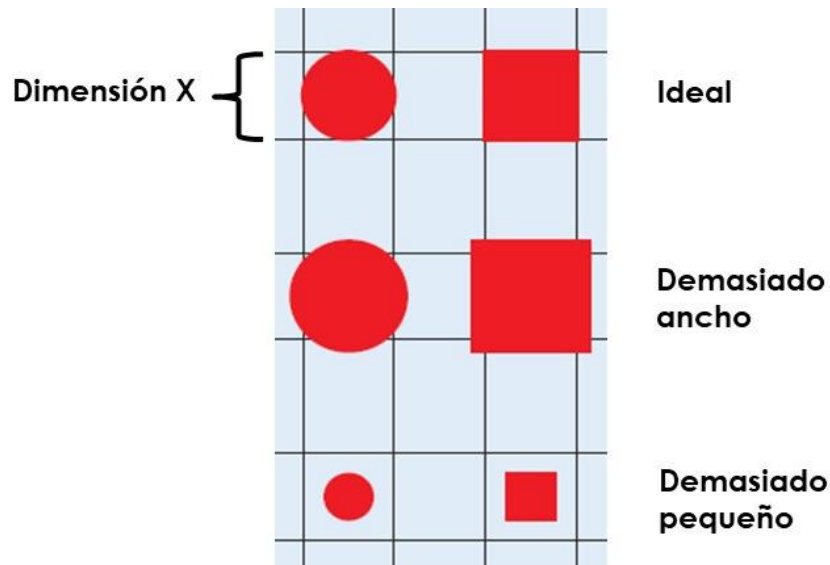


Figura 28. Tamaño de punto (Deuil et al., 2007)

Cuando se marcan puntos redondos con equipos por micropunción, como en este caso, lo ideal es obtener puntos 100% redondos, con un perfecto diámetro, pero como el proceso algunas veces presenta variación, a el diámetro del punto se le

permite una ovalidad, la ovalidad del punto no debe exceder el 20% del tamaño de la dimensión X (DIN, 2008).

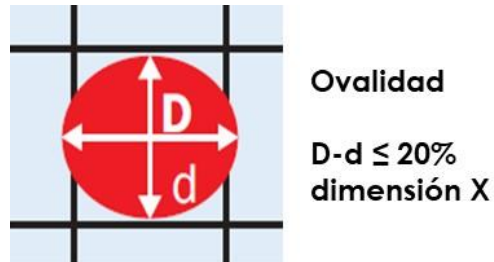


Figura 29. Porcentaje de Ovalidad (Deuil et al., 2007)

En teoría los puntos deben de estar horizontal y verticalmente alineados entre ellos, en el caso de que esta condición no se cumpla, el máximo desplazamiento permitido del centro del punto no debe ser mayor al 20% del valor nominal de la dimensión X (DIN, 2008).

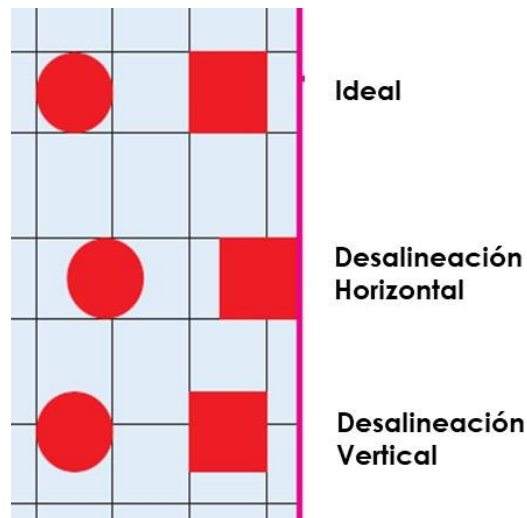


Figura 30. Alineación de puntos (Deuil et al., 2007)

El patrón L en el código 2D data matrix, es parte primordial de la estructura del símbolo, como su nombre lo indica, la L debe de tener un ángulo nominal de 90°, cualquier distorsión en el patrón L no debe exceder +/- 7° (DIN, 2008).

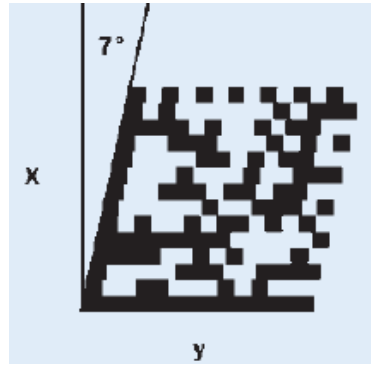


Figura 31. Distorsión
(Deuil et al., 2007)


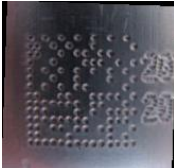
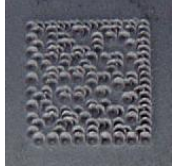

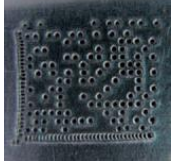
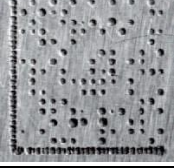
Ejemplo	Característica
	<p>Muy buena calidad, debido a un muy buen contraste entre el código y el fondo, todos los puntos tienen una estructura redonda uniforme y están 100% rellenos. La posición de los puntos no se desvía de la posición ideal.</p>
	<p>La geometría, la posición y el relleno del punto están muy cerca de lo ideal, sin embargo la zona tranquila se ve invadida por otros caracteres, pudiendo afectar la lectura del código.</p>
	<p>Código ilegible provocado por la superposición de los puntos entre ellos.</p>
	<p>Los puntos no están lo suficientemente rellenos, la penetración sobre la superficie del material es muy pobre.</p>
	<p>Código ilegible provocado por la desviación de los puntos en el patrón de búsqueda.</p>
	<p>Código ilegible causado por la variación en el tamaño de los puntos.</p>

Figura 32. Ejemplos y características del marcado
(Deuil et al., 2007)

2.6 LECTURA DEL CÓDIGO DATA MATRIX

Una vez definido el mejor marcado del código 2D data matrix sobre la superficie del tubo depósito, el siguiente paso es efectuar la lectura, para Leone et al. (2018) el requisito más importante para la aceptación del código marcado es, sin duda, la legibilidad del código, considerando que para leer el código es necesario un lector especial instalado en la máquina cerca de la zona de marcado, como lo menciona Deuil et al. (2007), existen diferentes tecnologías de lectura utilizado para leer diferentes tipos códigos; la tecnología láser, se utiliza para leer códigos de barras y no puede identificar códigos data matrix; la tecnología de cámara, registra una imagen y procesa algoritmos para identificar códigos data matrix.

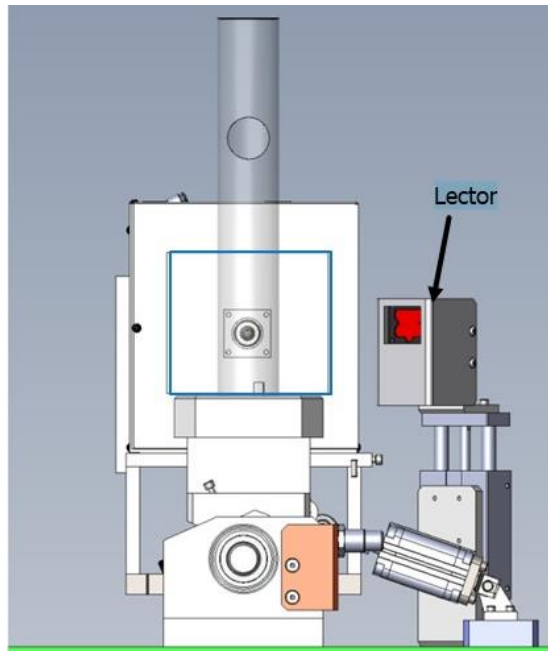


Figura 33. Lector SR-2000
Elaboración propia

La verificación de la calidad del marcado se realiza con base en la Organización Internacional de Normalización en su norma ISO/IEC TR No. 29158, la evaluación se basa en 10 criterios a los cuales se les asignan valores, mientras menor es el valor menor es la calidad del marcado y viceversa (ISO, 2011) para interpretar de manera correcta la lectura del código, para Keyence, (2017) el uso de este estándar no solo reduce el tiempo y los esfuerzos necesarios para intercambiar

especificaciones por separado, sino que también permite intercambiar de manera integral los elementos de gestión relacionados con las especificaciones de marcado.






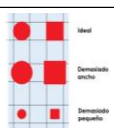
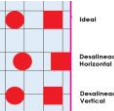



Criterio ISO/IEC TR No. 29158		Descripción	Grado de evaluación
Decodificación (DEC)		Decodifica la imagen del código 2D data matrix en números binarios, primer filtro de legibilidad	A (4) F (0)
Contraste del código (CC)		Evalúa la diferencia de brillo entre los puntos claros y oscuros del código	A (4) B (3) C (2) D (1) F (0)
Modulación del código (CM)		Evalúa la modulación y reflectancia de los puntos claros y oscuros	A (4) B (3) C (2) D (1) F (0)
Mínima reflectancia (RM)		Evalúa como el código refleja la luz	A (4) F (0)
Daño en el patrón de búsqueda (FPD)		Evalúa la condición del patrón de búsqueda, incluyendo la zona tranquila	A (4) B (3) C (2) D (1) F (0)
Falta de uniformidad axial (AN)		Evalúa si los puntos se encuentran en la posición ideal	A (4) B (3) C (2) D (1) F (0)
Falta de uniformidad en la cuadrícula (GN)		Evalúa si los puntos se encuentran alineado vertical y horizontalmente dentro la cuadrícula de los módulos	A (4) B (3) C (2) D (1) F (0)
Corrección de errores no utilizados (UEC)		Evalúa la cantidad de errores que se han utilizado en el código	A (4) B (3) C (2) D (1) F (0)
Crecimiento del marcado horizontal (PGH)		Evalúa la expansión y contracción de los puntos claros y oscuros en dirección horizontal	A (4) B (3) C (2) D (1) F (0)
Crecimiento del marcado vertical (PGV)		Evalúa la expansión y contracción de los puntos claros y oscuros en dirección vertical	A (4) B (3) C (2) D (1) F (0)

Figura 34. Criterios de evaluación (ISO, 2011), (Deuil et al., 2007), (Keyence, 2017)

El lector seleccionado para la lectura de los códigos 2D data matrix pertenece a la compañía Keyence, la versión SR-2000 es utilizado para tal efecto, el lector tiene la capacidad de verificar la calidad del código 2D data matrix con base a la norma ISO (2011) y para la empresa Keyence (2019a) , la interpretación de una buena o mala lectura puede ser más fácil y se puede resumir en 3 criterios principalmente, el primero de ellos es el porcentaje de prueba de lectura, segundo, el valor del nivel de coincidencia (ML: Matching Level) hipótesis a verificar y el tercer criterio es la cantidad de píxeles por celda, mientras más alto sea el valor en estos criterios significa una mejor legibilidad del código 2D data matrix, el éxito de una correcta lectura de código se puede resumir en tres puntos principales:

- a) La distancia de instalación del lector

La distancia entre el lector y el código 2D data matrix es bastante importante para el proceso, el lector posee una dimensión pequeña y se puede ubicar en cualquier ubicación dentro de la máquina, el tamaño de la dimensión X define la distancia mínima de lectura, mientras más grande sea el tamaño de la dimensión X mayor podrá ser la distancia de instalación del lector (Keyence, 2019a).

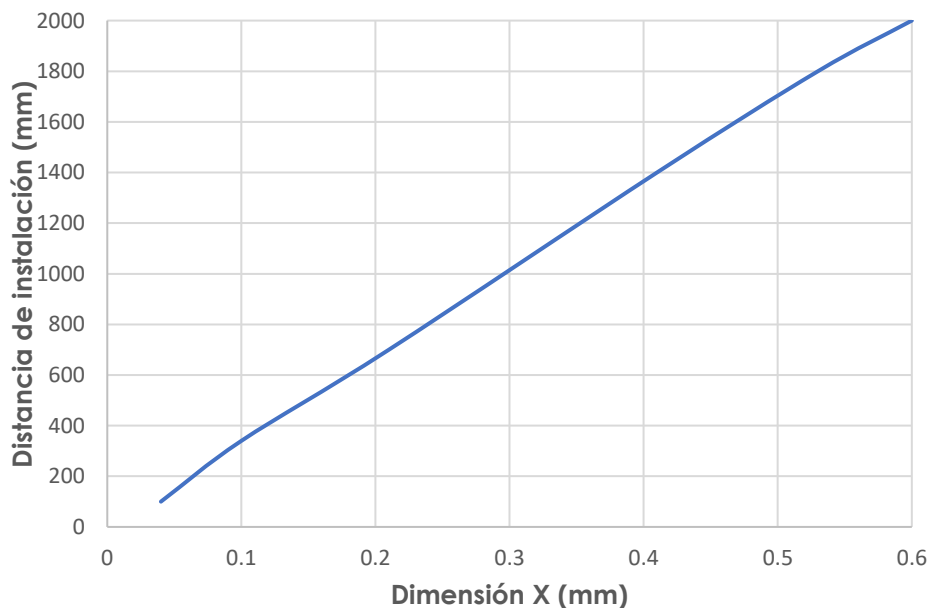


Figura 35. Distancia de instalación por dimensión X (Keyence, 2019a)

No es una restricción el instalar el lector más lejos que la distancia recomendada, pero si dentro de la ventana de trabajo del lector, la distancia mínima de instalación no debe ser menor a los 100 milímetros, ni tampoco mayor a 2000 milímetros, ya que el lector no podrá realizar correctamente su función por estar fuera de su área de trabajo, este valor en la empresa es un valor constante, la actual distancia de instalación del lector en la línea de soldadura es de 280 milímetros y en la línea de montaje es de 260 milímetros y el tamaño de la dimensión X es de 0.62 milímetros, sin ninguna restricción puede leerse el código hasta una distancia de 2 metros, otra relación directa con la distancia de instalación es el incremento o disminución del área de lectura, mientras más cerca se encuentre el código del lector menor es el área de lectura, y mientras más lejos se encuentre el código del lector, esta área de lectura se incrementara (Keyence, 2019a).

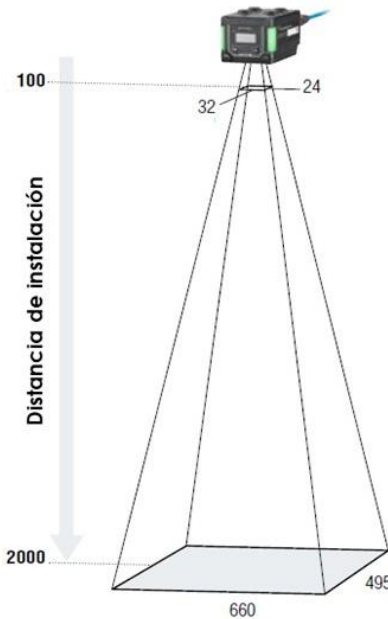


Figura 36. Distancia de instalación por área de lectura (Keyence, 2019a)

b) El ángulo de instalación del lector

La manera en que la luz se introduce al lector define la calidad de imagen durante lectura del código. Si la cara del lector se instala paralelamente a la superficie marcada del código 2D data matrix, la luz que genera el medio ambiente y el

lector se refleja directamente desde el código a el lector, provocando dificultad de la lectura y las imágenes se ven difusas, para evitar estar reflexión directa, el lector debe de instalarse angularmente creando un fondo negro y los puntos oscuros del código 2D data matrix se visualizarán blancos (Keyence, 2011).



Figura 37. Dirección del lector
(Keyence, 2011)

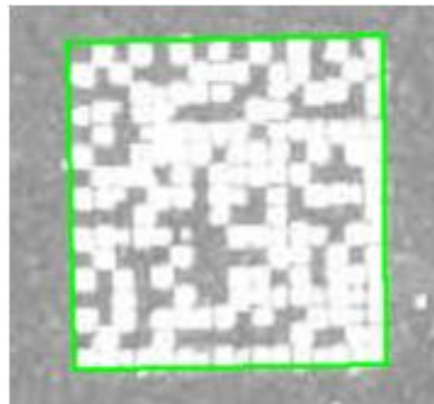


Figura 38. Imagen angular del lector
Elaboración propia

La posición angular correcta estará representada por un valor alto en el porcentaje de la prueba de lectura y en el nivel de coincidencia del lector, el rango del nivel de coincidencia se encuentra entre los valores de 1 y 100, mientras se obtengan valores más altos será mejor la legibilidad del código 2D data matrix.

c) Iluminación externa

La iluminación está disponible en una amplia variedad de formas, desde la del medio ambiente y la iluminación propia del lector, principalmente la iluminación propia del lector puede ser suficiente para una correcta lectura del código 2D data matrix, sin embargo, existen otros métodos de iluminación externa para hacer más fácil la lectura especialmente para superficies con acabado espejo, rugosas o con líneas en la superficie.



Figura 39. Iluminación externa
(Keyence, 2011)

Actualmente en la máquina no se encuentra instalada alguna iluminación externa, sin embargo, se debe considerar no exceder la siguiente cantidad de lux sobre la superficie marcada ya sea emitida por el medio ambiente o por alguna lámpara localizada en el perímetro de la máquina.

Luz solar: 10,000 lux.

Lámpara incandescente: 6,000 lux.

Lámpara fluorescente: 2,000 lux.

2.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para optimizar el marcado, la legibilidad del código 2D data matrix, incrementar el nivel de coincidencia de la lectura y para comprobar la hipótesis propuesta, se propone un diseño de experimentos factorial completo, el diseño de experimentos fue desarrollado primeramente para la agricultura por el estadístico británico Sir

Ronald Fischer en la década de 1920, sus experimentos iniciales se centraron en determinar el efecto de varios fertilizantes en diferentes parcelas de tierra (Antony, 2003), el diseño de experimentos es un método estadístico y multipropósito aplicado ampliamente en diferentes campos de la ciencia y la industria, especialmente para apoyar el diseño, desarrollo y optimización de procesos y productos (Durakovic, 2017).

Para Antony (2003) un diseño experimental involucra la secuencia de las siguientes actividades:

- 1) Hipótesis, supuesto que motiva la realización del experimento.
- 2) Experimento, serie de pruebas realizadas para investigar la hipótesis.
- 3) Análisis, comprensión de los datos y análisis estadístico de estos.
- 4) Interpretación, comprensión de los resultados.
- 5) Conclusión, verificación de la hipótesis, verdadera o falsa.

Como lo plantea Jankovic et al. (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 Sean Lynn et al. (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 por ejemplo los factores de una máquina (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008, p. 238).

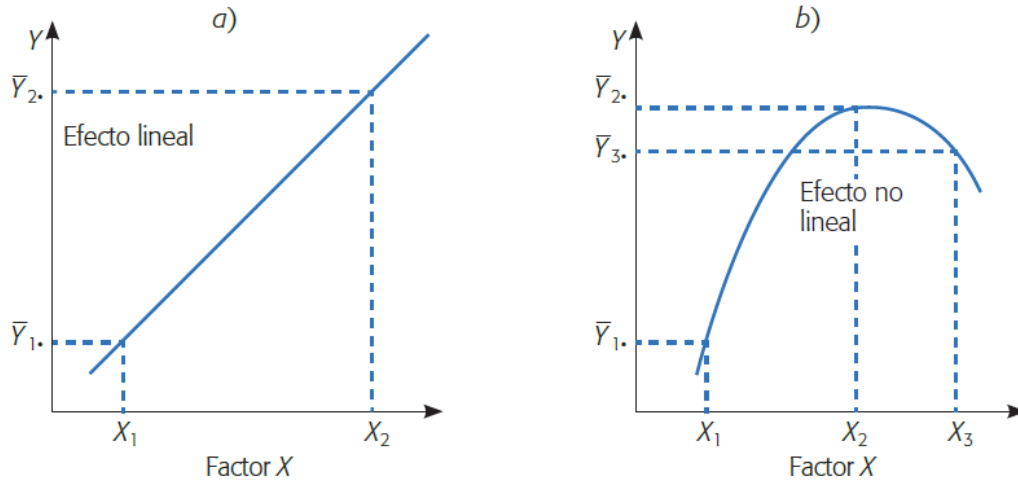


Figura 40. Ejemplo de efecto lineal y efecto con curvatura (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008)

El diseño factorial completo mixto propuesto, plantea el uso de 5 factores o variables independientes, 4 factores cuantitativos y 1 cualitativo, 2 factores con 3 niveles y 3 factores con 2 niveles y una sola replica; para la optimización de los parámetros y análisis de datos se utiliza el software Minitab versión 20.4, la manipulación de los factores dará como resultado un valor de respuesta, llamado variable dependiente, los valores de la variable dependiente serán tomados con base a el valor del nivel de coincidencia del lector (ML), este valor es el que se desea maximizar; el intervalo de confianza del experimento será de un 95%.

Tabla 4. Factores y niveles

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	

Elaboración propia

Para maximizar el nivel de coincidencia (ML), se han seleccionado 5 factores con diferentes niveles:

- 1) 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.
- 2) El ángulo del lector respecto al tubo depósito marcado, el primer nivel es a 0°, el segundo a 30° y el tercer a 45°.
- 3) La pintura, como las piezas serán pintadas se han seleccionado los dos tipos de pintura disponibles en planta, pintura por proceso electrostático por aerosol y pintura catafórica [REDACTED], la pintura es un factor cualitativo.
- 4) El ángulo de la punta del punzón consta de dos niveles, el primero con un ángulo de 60° y el segundo de 90°.
- 5) 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.

El supuesto que motiva este diseño experimental es la comprobación de la hipótesis nula:

$$H_0 : ML \geq 60$$

Tomando como base el planteamiento de Jankovic et al. (2021), el supuesto central detrás del enfoque metodológico general de esta investigación es que es posible conocer el comportamiento verdadero de un sistema, cuando dicho sistema se investiga a través del diseño factorial completo. En otras palabras, la ejecución del diseño factorial completo nos permite conocer completamente el impacto de cada permutación, combinando todos los diferentes niveles y todas las diferentes variables independientes, generando una matriz factorial como la de la Figura 41.

Orden	Distancia	° Lector	Pintura	° Punzón	Fuerza
1	3	0	Elec	60	50
2	3	0	Elec	60	100
3	3	0	Elec	90	50
4	3	0	Elec	90	100
5	3	0	Ktl	60	50
6	3	0	Ktl	60	100
7	3	0	Ktl	90	50
8	3	0	Ktl	90	100
9	3	30	Elec	60	50
10	3	30	Elec	60	100
11	3	30	Elec	90	50
12	3	30	Elec	90	100
13	3	30	Ktl	60	50
14	3	30	Ktl	60	100
15	3	30	Ktl	90	50
16	3	30	Ktl	90	100
17	3	45	Elec	60	50
18	3	45	Elec	60	100
19	3	45	Elec	90	50
20	3	45	Elec	90	100
21	3	45	Ktl	60	50
22	3	45	Ktl	60	100
23	3	45	Ktl	90	50
24	3	45	Ktl	90	100
25	4	0	Elec	60	50
26	4	0	Elec	60	100
27	4	0	Elec	90	50
28	4	0	Elec	90	100
29	4	0	Ktl	60	50
30	4	0	Ktl	60	100
31	4	0	Ktl	90	50
32	4	0	Ktl	90	100
33	4	30	Elec	60	50
34	4	30	Elec	60	100
35	4	30	Elec	90	50
36	4	30	Elec	90	100
37	4	30	Ktl	60	50
38	4	30	Ktl	60	100
39	4	30	Ktl	90	50
40	4	30	Ktl	90	100
41	4	45	Elec	60	50
42	4	45	Elec	60	100
43	4	45	Elec	90	50
44	4	45	Elec	90	100
45	4	45	Ktl	60	50
46	4	45	Ktl	60	100
47	4	45	Ktl	90	50
48	4	45	Ktl	90	100
49	5	0	Elec	60	50
50	5	0	Elec	60	100
51	5	0	Elec	90	50
52	5	0	Elec	90	100
53	5	0	Ktl	60	50
54	5	0	Ktl	60	100
55	5	0	Ktl	90	50
56	5	0	Ktl	90	100
57	5	30	Elec	60	50
58	5	30	Elec	60	100
59	5	30	Elec	90	50
60	5	30	Elec	90	100
61	5	30	Ktl	60	50
62	5	30	Ktl	60	100
63	5	30	Ktl	90	50
64	5	30	Ktl	90	100
65	5	45	Elec	60	50
66	5	45	Elec	60	100
67	5	45	Elec	90	50
68	5	45	Elec	90	100
69	5	45	Ktl	60	50
70	5	45	Ktl	60	100
71	5	45	Ktl	90	50
72	5	45	Ktl	90	100

Figura 41. Matriz factorial del diseño experimental
Elaboración propia

Algunas técnicas útiles para el desarrollo, análisis e identificación de los principales efectos del diseño experimental involucran gráficas, diagramas, grados de libertad, la magnitud del error y el valor-P.

Una representación gráfica para identificar cuáles factores tienen mayor efecto en el diseño experimental es el diagrama de efectos estandarizados, este representa una manera práctica para ver cuáles efectos son los más grandes en cuanto a su magnitud pero sin considerar supuestos distribucionales (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008, p. 198).

Pero cuando el diagrama de Pareto no aclara bien la situación de algunos efectos de magnitud intermedia se puede realizar un análisis de varianza preliminar, ANOVA (acrónimo en inglés), el ANOVA es un procedimiento analítico y estadístico que determina si existen diferencias entre las medias de los grupos en una muestra y si estas diferencias existen solo por aleatoriedad o pueden atribuirse a una causa específica, una vez que se ejecute el diseño experimental y se obtengan los valores del nivel de coincidencia del lector, el ANOVA evaluará el impacto de los factores numéricos, su interacción y aleatoriedad en la cantidad de respuesta.

Como lo plantea Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar (2008), también se recomienda fijarse en los siguientes criterios:

- Los grados de libertad del error deben ser al menos 8 para tener un ANOVA más confiable.
- Cuando se van eliminando efectos no significativos del modelo en el ANOVA preliminar, el $R_{A_j}^2$ crece, en el momento en que se elimina un efecto y este estadístico decrece 3% o más, significa que ese efecto no debe excluirse.

El análisis de regresión construirá una relación cuantitativa entre los factores formando una ecuación de regresión, la mayoría de la veces se utiliza el método de los mínimos cuadrados, la estimación del método de los mínimos cuadrados se basa en minimizar la suma cuadrada de los residuos, produce el modelo ajustado y estima el error de la varianza (Zivot & Wang, 2006, p. 183), Gutiérrez Pulido & de la

Vara Salazar (2008) recomienda el uso dos de los estadísticos para comparar la variabilidad explicada del modelo de regresión múltiple, estos son el coeficiente de determinación R^2 y el coeficiente de determinación ajustado R_{Aj}^2 , su interpretación se cumple cuando $0.0 \leq R_{Aj}^2 \leq R^2 \leq 100.0$, por lo tanto son deseables valores cercanos a 100, cuando hay muchos factores se recomienda el uso de R_{Aj}^2 de al menos 70%, pero si los valores de R^2 son bajos, se puede deber a:

- Los factores no tienen influencia para explicar las variaciones de la respuesta.
- Los niveles de los factores son muy estrechos.
- No se contemplaron otros factores.
- Errores experimentales y de medición son altos.

Otro modo de explicar los principales efectos en el diseño experimental y descartar los factores es utilizando las gráficas de los efectos factoriales.

Una vez que se han seleccionado los efectos e interacciones con mayor importancia, se itera el modelo y se realiza nuevamente el análisis del experimento factorial en el software Minitab® 20.4 Statistical Software (2021) a través de la regresión factorial general.

Se conocerá también el cuadrado medio del error estándar CM_E , la varianza prevista σ^2 y la desviación estándar σ , para poder calcular el Cp_k a través de la Ecuación 1, con la media estimada y la media objetivo.

$$Cp_k = \frac{\mu_P - \mu_O}{3\sigma}$$

Ecuación 1. Cálculo del Cp_k
(Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2009)

También el diagnóstico estadístico de los residuos es usado para evaluar la validez de algunos de los supuestos adyacentes del modelo y sirven como indicadores de advertencia para posibles errores de especificación, los diagnósticos más comunes se basan en la prueba de normalidad, la independencia de errores y la igualdad

de varianza (Zivot & Wang, 2006, p. 185); el valor de respuesta se debe distribuir de manera normal, con la misma varianza en cada tratamiento y las mediciones deben ser independientes (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008).

La predicción de respuesta múltiple del optimizador de respuesta va a predecir el error estándar y la media estimada con un intervalo de confianza del 95%; y para reafirmar la solución propuesta se analizará el valor de la función de deseabilidad compuesta (D) para evaluar que tan bien la configuración optimiza el conjunto de respuestas (Jesus et al., 2014), la deseabilidad compuesta tiene un rango de 0 a 1, mientras más alto el valor es mejor para reafirmar la solución propuesta.

Para la realización del diseño experimental se utilizará un banco de pruebas, con el propósito de simular las condiciones de marcado y de lectura de la línea de soldadura [REDACTED] y las condiciones de lectura de la línea de montaje [REDACTED], los elementos principales de este banco son:

- Base principal
- Mordaza de sujeción y centrador de tubo depósito.
- Soporte y actuador para cabezal de marcado.
- Cabezal de marcado serie XF510Cp marca Gravotech.
- Lector de códigos SR-2000 marca Keyence.
- Computadora portátil con software AutoID Network Navigator marca Keyence integrado.
- Control eléctrico con PLC marca siemens.

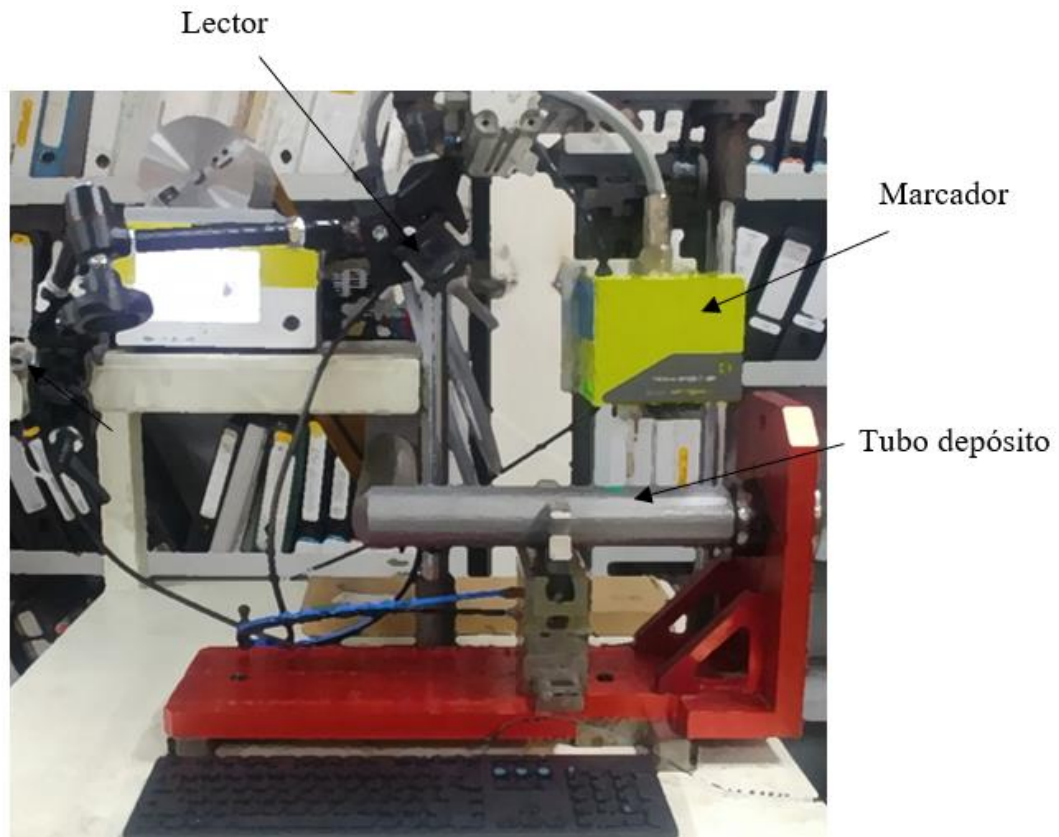


Figura 42. Banco de pruebas
Elaboración propia

3. RESULTADOS

Los valores del ML obtenidos de las 72 combinaciones se muestran en la Figura 43.

Orden	Distancia	° Lector	Pintura	° Punzón	Fuerza	ML
1	3	0	Elec	60	50	33
2	3	0	Elec	60	100	8
3	3	0	Elec	90	50	45
4	3	0	Elec	90	100	42
5	3	0	Ktl	60	50	9
6	3	0	Ktl	60	100	8
7	3	0	Ktl	90	50	65
8	3	0	Ktl	90	100	61
9	3	30	Elec	60	50	68
10	3	30	Elec	60	100	47
11	3	30	Elec	90	50	65
12	3	30	Elec	90	100	74
13	3	30	Ktl	60	50	70
14	3	30	Ktl	60	100	3
15	3	30	Ktl	90	50	69
16	3	30	Ktl	90	100	60
17	3	45	Elec	60	50	76
18	3	45	Elec	60	100	31
19	3	45	Elec	90	50	4
20	3	45	Elec	90	100	42
21	3	45	Ktl	60	50	43
22	3	45	Ktl	60	100	27
23	3	45	Ktl	90	50	68
24	3	45	Ktl	90	100	48
25	4	0	Elec	60	50	80
26	4	0	Elec	60	100	9
27	4	0	Elec	90	50	57
28	4	0	Elec	90	100	54
29	4	0	Ktl	60	50	79
30	4	0	Ktl	60	100	4
31	4	0	Ktl	90	50	83
32	4	0	Ktl	90	100	47
33	4	30	Elec	60	50	73
34	4	30	Elec	60	100	54
35	4	30	Elec	90	50	62
36	4	30	Elec	90	100	80
37	4	30	Ktl	60	50	71
38	4	30	Ktl	60	100	4
39	4	30	Ktl	90	50	74
40	4	30	Ktl	90	100	57
41	4	45	Elec	60	50	80
42	4	45	Elec	60	100	24
43	4	45	Elec	90	50	58
44	4	45	Elec	90	100	17
45	4	45	Ktl	60	50	81
46	4	45	Ktl	60	100	68
47	4	45	Ktl	90	50	63
48	4	45	Ktl	90	100	71
49	5	0	Elec	60	50	86
50	5	0	Elec	60	100	58
51	5	0	Elec	90	50	26
52	5	0	Elec	90	100	22
53	5	0	Ktl	60	50	86
54	5	0	Ktl	60	100	24
55	5	0	Ktl	90	50	20
56	5	0	Ktl	90	100	70
57	5	30	Elec	60	50	74
58	5	30	Elec	60	100	59
59	5	30	Elec	90	50	82
60	5	30	Elec	90	100	57
61	5	30	Ktl	60	50	74
62	5	30	Ktl	60	100	53
63	5	30	Ktl	90	50	73
64	5	30	Ktl	90	100	60
65	5	45	Elec	60	50	75
66	5	45	Elec	60	100	65
67	5	45	Elec	90	50	3
68	5	45	Elec	90	100	41
69	5	45	Ktl	60	50	76
70	5	45	Ktl	60	100	40
71	5	45	Ktl	90	50	41
72	5	45	Ktl	90	100	62

Figura 43. Matriz Factorial y nivel de coincidencia
Elaboración propia

3.1. Análisis preliminar

Al realizar el análisis del experimento factorial en el software Minitab® 20.4 Statistical Software (2021) a través de la regresión factorial general, se obtuvo el análisis de varianza preliminar, los coeficientes, la ecuación de regresión, el diagrama de Pareto y las gráficas de los residuales, se procede a analizar la información correspondiente para determinar los principales efectos y la mejor solución del diseño experimental.

3.1.1. Diagrama de Pareto preliminar

En el diagrama de Pareto estandarizado preliminar de la Figura 44 se representan los efectos divididos entre su error estándar, la línea de referencia roja con valor de 2.776 es el valor crítico, por lo tanto, si el valor absoluto de la estimación del efecto estandarizado es mayor que 2.776, entonces el efecto poblacional correspondiente será estadísticamente diferente de cero (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008, p. 189).

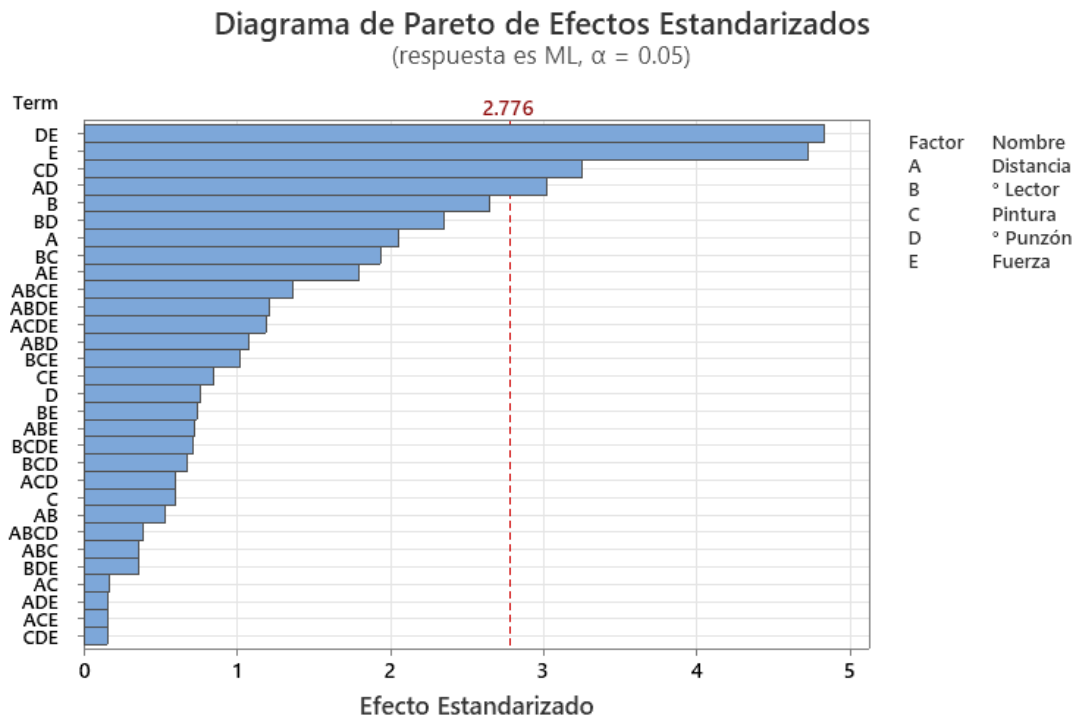


Figura 44. Diagrama de Pareto preliminar
Elaboración Propia

Con base a este diagrama de Pareto los principales efectos se encuentran en los siguientes factores e interacciones:

- El factor E, la fuerza.
- La interacción AD, Distancia-°Punzón.
- La interacción CD, Pintura-°Punzón.
- La interacción DE, °Punzón-Fuerza.

El efecto estandarizado sirve de estadístico de prueba para probar la hipótesis nula:

$$H_0 : \text{Efecto poblacional} = 0$$

En ocasiones el diagrama de Pareto puede parecer confuso y dejar a duda de si otros factores también tienen efecto sobre la respuesta, se procede a estudiar el análisis de varianza preliminar y confirmar si es correcta la deducción anterior.

3.1.2. Análisis de Varianza preliminar

El ANOVA sirve para identificar el efecto relacionado entre los factores y las interacciones de estos, en el presente estudio se estudiaron hasta el orden 4, 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 está activo e influye de manera significativa en la respuesta, mientras más pequeño es el valor-P de un efecto, tendrá un mayor nivel de importancia (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008, p. 172).

Como se puede observar en la Figura 45, los efectos e interacciones que tienen un valor-P menor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$ son:

- El factor E, la fuerza, con un valor-P de 0.009.
- La interacción AD, Distancia-°Punzón, con un valor-P de 0.039.
- La interacción CD, Pintura-°Punzón, con un valor-P de 0.031.
- La interacción DE, °Punzón-Fuerza, con un valor-P de 0.008.

Como el resto de los factores y las interacciones tienen un valor-P por encima de 0.05, se pueden descartar al momento de realizar el siguiente ANOVA.

Análisis de Varianza					
Fuente	Grados de Libertad	Suma cuadrados Aj.	Cuadrado medio Aj.	Valor-F	Valor-P
Modelo	67	42129.7	628.8	2.47	0.196
Lineal	7	11258.2	1608.32	6.31	0.047
Distancia	2	2073.7	1036.85	4.07	0.109
° Lector	2	3239.4	1619.68	6.36	0.057
Pintura	1	91.1	91.12	0.36	0.582
° Punzón	1	147.3	147.35	0.58	0.489
Fuerza	1	5706.7	5706.68	22.39	0.009
Interacciones 2-Vías	19	20340.5	1070.55	4.2	0.087
Distancia*° Lector	4	732.1	183.01	0.72	0.622
Distancia*Pintura	2	71.1	35.54	0.14	0.874
Distancia*° Punzón	2	4143.7	2071.85	8.13	0.039
Distancia*Fuerza	2	1639.4	819.68	3.22	0.147
° Lector*Pintura	2	1867.6	933.79	3.66	0.125
° Lector*° Punzón	2	2621.7	1310.85	5.14	0.078
° Lector*Fuerza	2	421.5	210.76	0.83	0.5
Pintura*° Punzón	1	2701.1	2701.13	10.6	0.031
Pintura*Fuerza	1	183.7	183.68	0.72	0.444
° Punzón*Fuerza	1	5958.7	5958.68	23.38	0.008
Interacciones 3-Vías	25	4749.8	189.99	0.75	0.718
Distancia*° Lector*Pintura	4	520.8	130.21	0.51	0.734
Distancia*° Lector*° Punzón	4	1570.9	392.72	1.54	0.343
Distancia*° Lector*Fuerza	4	997.1	249.26	0.98	0.508
Distancia*Pintura*° Punzón	2	319.1	159.54	0.63	0.58
Distancia*Pintura*Fuerza	2	65.2	32.6	0.13	0.883
Distancia*° Punzón*Fuerza	2	67	33.51	0.13	0.88
° Lector*Pintura*° Punzón	2	375.6	187.79	0.74	0.534
° Lector*Pintura*Fuerza	2	662.9	331.43	1.3	0.367
° Lector*° Punzón*Fuerza	2	165.2	82.6	0.32	0.741
Pintura*° Punzón*Fuerza	1	6.1	6.13	0.02	0.884
Interacciones 4-Vías	16	5781.1	361.32	1.42	0.4
Distancia*° Lector*Pintura*° Punzón	4	555.3	138.83	0.54	0.715
Distancia*° Lector*Pintura*Fuerza	4	2147.4	536.85	2.11	0.244
Distancia*° Lector*° Punzón*Fuerza	4	1832.2	458.06	1.8	0.292
Distancia*Pintura*° Punzón*Fuerza	2	843.1	421.54	1.65	0.3
° Lector*Pintura*° Punzón*Fuerza	2	403.1	201.54	0.79	0.514
Error	4	1019.3	254.83		
Total	71	43149			

Figura 45. ANOVA preliminar y principales efectos
Elaboración propia

Los grados de libertad del error deben ser al menos 8 para tener un ANOVA más confiable, para este ANOVA preliminar se tienen 4, no se cumple aún este concepto, sin embargo, se tendrá que valuar nuevamente en el ANOVA definitivo.

En el primer análisis de regresión, el coeficiente de determinación $R^2 = 97.64$ y el coeficiente de determinación ajustado $R_{Aj}^2 = 58.07$, la ecuación de regresión preliminar es muy extensa debido a todos los factores e interacciones que interviene.

3.1.3 Gráfica factorial

Las gráficas factoriales y de interacción grafican las medias ajustadas o las medias de datos, para examinar como los factores influyen en la respuesta y si las variables interactúan entre ellas.

Los efectos principales de la Figura 46 para cada factor se describen a continuación:

- Distancia: su gráfica muestra un efecto cuadrático, ligera curvatura, es claro que mientras el punzón esté más cerca del tubo depósito, distancia de 3 mm el $ML = 44.41$; en 4 mm se encuentra el valor más alto del $ML = 56.25$ y en 5 baja ligeramente a $ML = 55.29$.

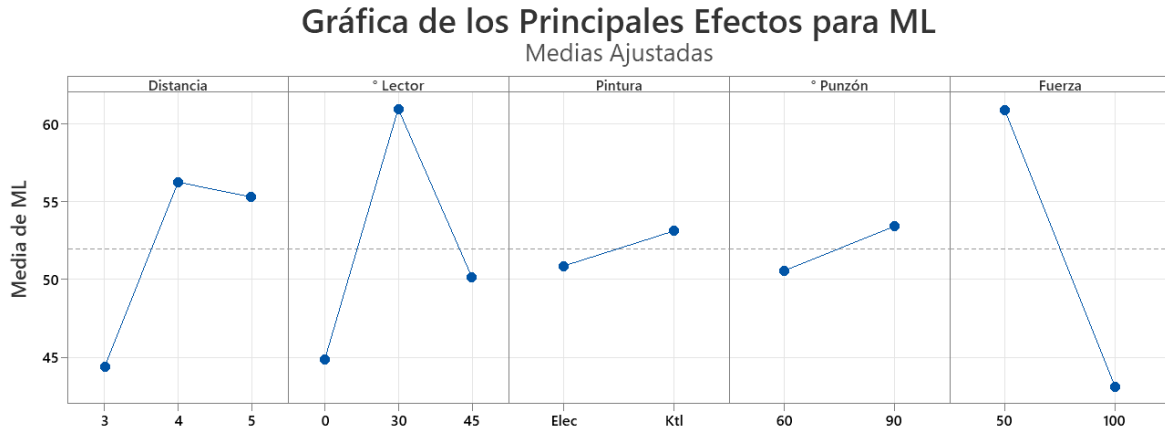


Figura 46. Gráfica de los efectos principales
Elaboración propia

- Ángulo del lector: su gráfica muestra un efecto cuadrático, con curvatura, es claro que mientras el lector se incline entre 0° y 45° existirán diferentes valores de ML, a 0° $ML = 44.83$; a 30° se encuentra el valor más alto $ML = 60.95$ y en 45° baja a $ML = 50.16$.
- Pintura: se puede decir que no existe un efecto significativo ya que la gráfica es caso horizontal, con pintura electrostática el $ML = 50.86$ y con pintura catafórica es de $ML = 53.11$.
- Ángulo del punzón: se puede decir también que no existe un efecto significativo ya que la gráfica es caso horizontal, a un ángulo de 60° el $ML = 50.55$ y a un ángulo de 90° es de $ML = 53.41$.
- Fuerza: es la que mayor efecto tiene sobre la respuesta, cuando la fuerza es del 50% el $ML = 60.88$ y cuando la fuerza se programa al 100% el $ML = 43.08$.

La interacción entre los factores se muestra en las gráficas de la Figura 47, estas también son importantes y resaltan 3 interacciones:

- La distancia y el ángulo del punzón.
- La pintura y el ángulo del punzón.
- El ángulo del punzón y la fuerza.

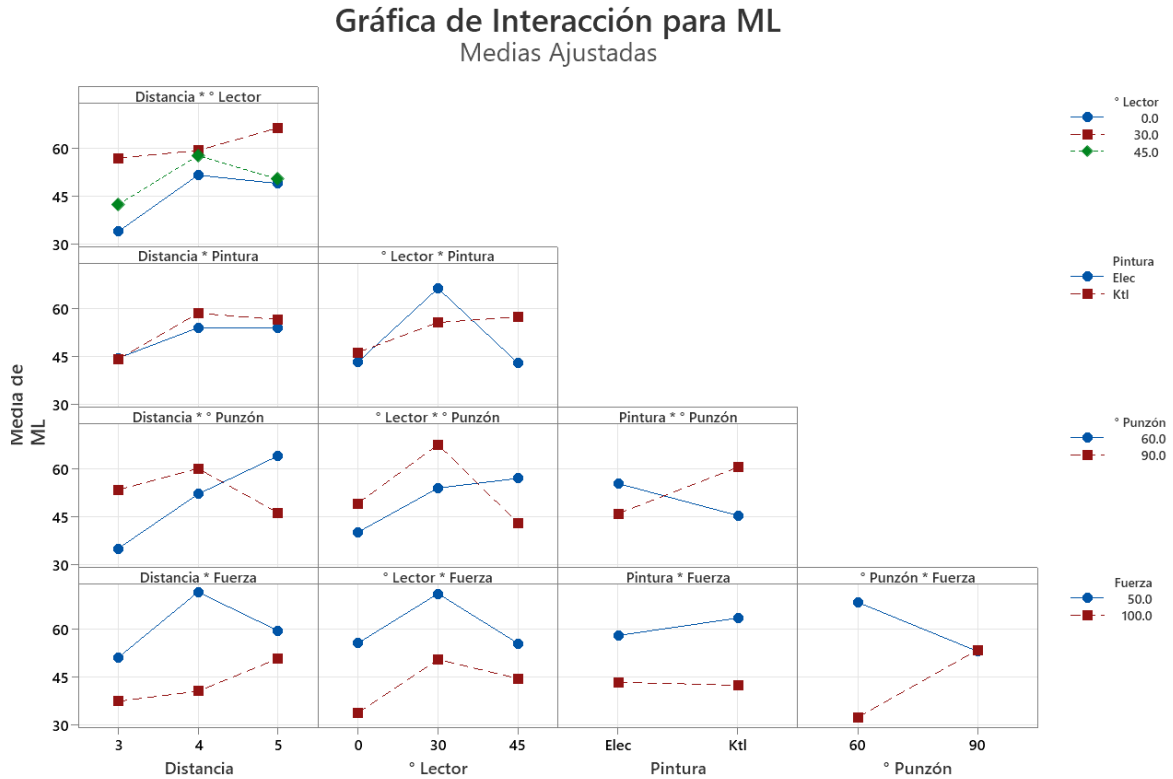


Figura 47. Gráfica de interacciones
Elaboración propia

Estas tres interacciones coinciden con la conclusión del ANOVA preliminar.

3.2. Análisis definitivo

Eliminando los factores y las interacciones que no tienen algún efecto en el diseño experimental, se realiza nuevamente el análisis del experimento factorial en el software Minitab® 20.4 Statistical Software (2021) a través de la regresión factorial general.

3.2.1 Diagrama de Pareto definitivo

En el diagrama de Pareto estandarizado definitivo, la línea de referencia roja con valor de 2.000 es el valor crítico, por lo tanto, si el valor absoluto de la estimación del efecto estandarizado es mayor que 2.000, entonces el efecto poblacional correspondiente será estadísticamente diferente de cero (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008, p. 189).

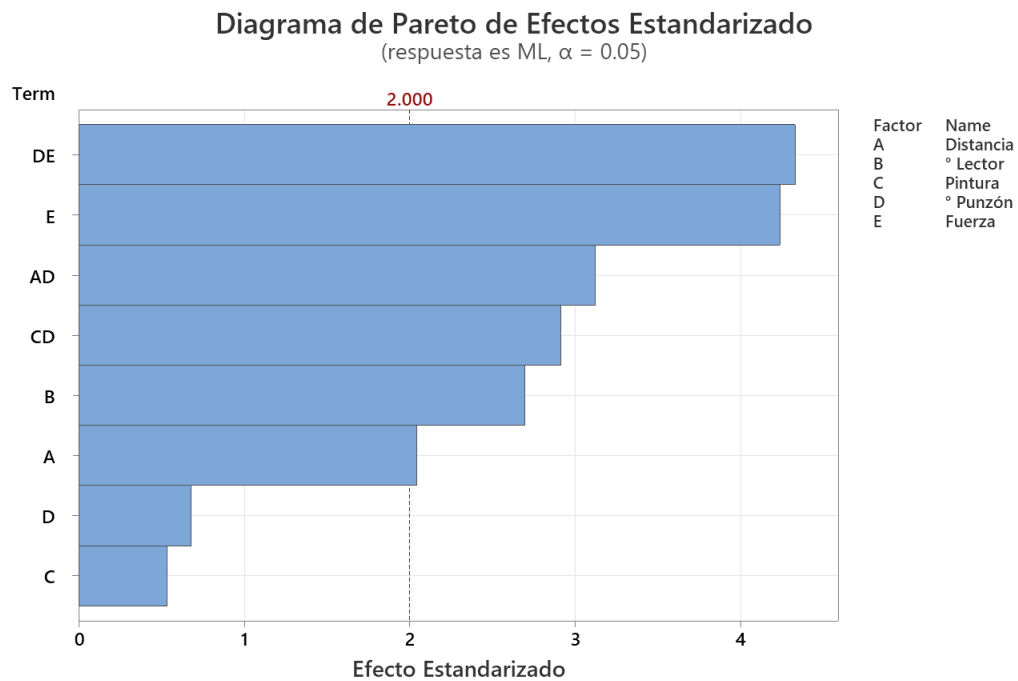


Figura 48. Diagrama de Pareto definitivo
Elaboración Propia

Con base a este diagrama de Pareto los principales efectos se encuentran en los siguientes factores e interacciones:

- La interacción DE, °Punzón-Fuerza.
- El factor E, la fuerza.
- La interacción AD, Distancia-°Punzón.
- La interacción CD, Pintura-°Punzón.
- El factor B, el ángulo del lector
- El factor A, la distancia.

3.2.2 Análisis de varianza definitivo

El ANOVA definitivo muestra los efectos que tienen un valor-P menor al nivel de significancia $\alpha = 0.05$, estos son:

- El factor A, la distancia, con un valor-P de 0.045
- El factor B, el ° Lector, con un valor-P de 0.009
- La interacción AD, Distancia-°Punzón, con un valor-P de 0.003.
- La interacción CD, Pintura-°Punzón, con un valor-P de 0.005.
- La interacción DE, °Punzón-Fuerza, con un valor-P de 0.000.

Análisis de Varianza					
Fuente	Grados de Libertad	Suma cuadrados Aj.	Cuadrado medio Aj.	Valor-F	Valor-P
Modelo	11	24061.7	2187.43	6.88	0
Lineal	7	11258.2	1608.32	5.06	0
Distancia	2	2073.7	1036.85	3.26	0.045
° Lector	2	3239.4	1619.68	5.09	0.009
Pintura	1	91.1	91.12	0.29	0.594
° Punzón	1	147.3	147.35	0.46	0.499
Fuerza	1	5706.7	5706.68	17.94	0
Interacciones 2-Vías	4	12803.5	3200.88	10.06	0
Distancia*° Punzón	2	4143.7	2071.85	6.51	0.003
Pintura*° Punzón	1	2701.1	2701.13	8.49	0.005
° Punzón*Fuerza	1	5958.7	5958.68	18.73	0
Error	60	19087.3	318.12		
Total	71	43149			

Figura 49. ANOVA definitivo
Elaboración propia

Los grados de libertad del error deben ser al menos 8 para tener un ANOVA más confiable, para este ANOVA definitivo se tienen 60, se cumple este concepto.

El análisis de regresión, el coeficiente de determinación $R^2 = 55.76$ y el coeficiente de determinación ajustado $R_{Aj}^2 = 47.65$.

La ecuación de regresión definitiva se expresa en la Ecuación 2.

$$\begin{aligned}
 ML = & 51.99 - 7.57 \text{ Distancia}_3 + 4.26 \text{ Distancia}_4 + 3.31 \text{ Distancia}_5 - 7.15 \text{ ° Lector}_0 \\
 & + 8.97 \text{ ° Lector}_{30} - 1.82 \text{ ° Lector}_{45} - 1.12 \text{ Pintura}_{Elec} + 1.12 \text{ Pintura}_{Ktl} \\
 & - 1.43 \text{ ° Punzón}_{60} + 1.43 \text{ ° Punzón}_{90} + 8.90 \text{ Fuerza}_{50} - 8.90 \text{ Fuerza}_{100} \\
 & - 7.74 \text{ Distancia} * \text{ ° Punzón}_{3 60} + 7.74 \text{ Distancia} * \text{ ° Punzón}_{3 90} \\
 & - 2.57 \text{ Distancia} * \text{ ° Punzón}_{4 60} + 2.57 \text{ Distancia} * \text{ ° Punzón}_{4 90}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ 10.31 \text{ Distancia} * \text{° Punzón}_5 60 - 10.31 \text{ Distancia} * \text{° Punzón}_5 90 \\
 &+ 6.13 \text{ Pintura} * \text{° Punzón}_\text{Elec} 60 - 6.13 \text{ Pintura} * \text{° Punzón}_\text{Elec} 90 \\
 &- 6.13 \text{ Pintura} * \text{° Punzón}_\text{Ktl} 60 + 6.13 \text{ Pintura} * \text{° Punzón}_\text{Ktl} 90 + 9.10 \text{° Punzón} \\
 &\quad * \text{Fuerza}_60 50 - 9.10 \text{° Punzón} * \text{Fuerza}_60 100 - 9.10 \text{° Punzón} \\
 &\quad * \text{Fuerza}_90 50 + 9.10 \text{° Punzón} * \text{Fuerza}_90 100
 \end{aligned}$$

Ecuación 2. Ecuación de regresión

El cuadrado medio del error estándar CM_E para esta ANOVA es de 318.12.

3.2.3 Capacidad del proceso

La media prevista o estimada es de 96.1389 y la media objetivo de la hipótesis es de 60, para determinar el valor de la desviación estándar se utiliza el valor del cuadrado medio del error $CM_E = 318.12$, como la varianza prevista es igual al cuadrado medio del error.

$$\sigma^2 = CM_E$$

Ecuación 3. Varianza

en dónde la desviación estándar poblacional es igual a:

$$\sigma = \sqrt{CM_E} = \sqrt{318.12} = 17.83$$

Se utiliza la Ecuación 1 para calcular el Cp_k .

$$Cp_k = \frac{\mu_P - \mu_O}{3\sigma} = \frac{96.1389 - 60}{3 * 17.83} = \frac{36.13}{53.49} = 0.67$$

La capacidad de proceso para la investigación es de 0.67, está claro que este valor debe de mejorar una vez que se aplique el método nuevo.

3.2.4 Verificación de supuestos

La validez del análisis de varianza se realiza con la verificación de tres supuestos:

- El supuesto de normalidad debe seguir una distribución normal con media de cero, la gráfica de normalidad de la Figura 50 muestra que se cumple

este supuesto de normalidad ya que gráficamente todos los valores se agrupan sobre la línea y tiene un valor-P de 0.173, mayor a 0.05.

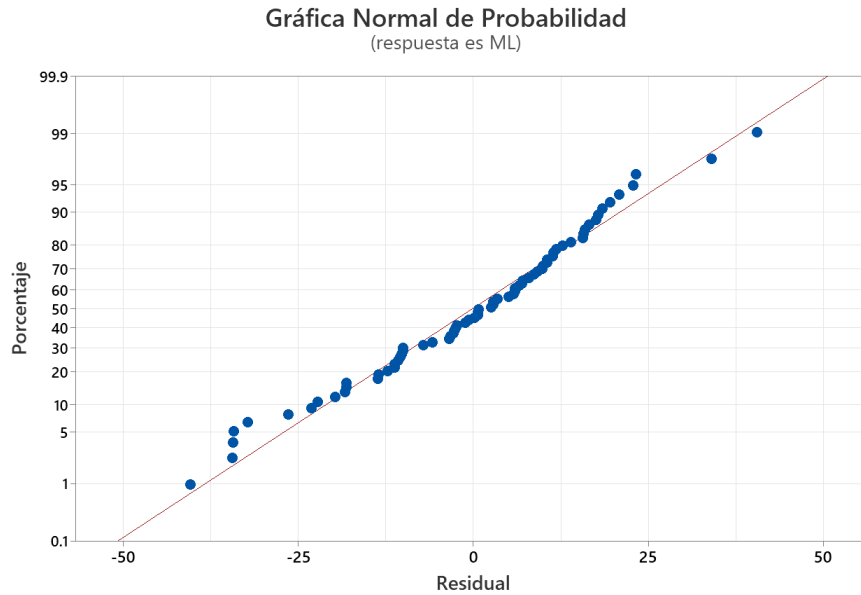


Figura 50. Gráfica de normalidad
Elaboración propia

- El supuesto de igualdad de varianza sirve para verificar que los tratamientos tienen la misma varianza, gráficamente en la Figura 51 como los puntos se distribuyen de manera aleatoria en una banda horizontal, esto quiere decir sin un patrón claro y contundente, entonces es signo de que se cumple el supuesto de que los tratamientos tienen igualdad de varianza (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2008).

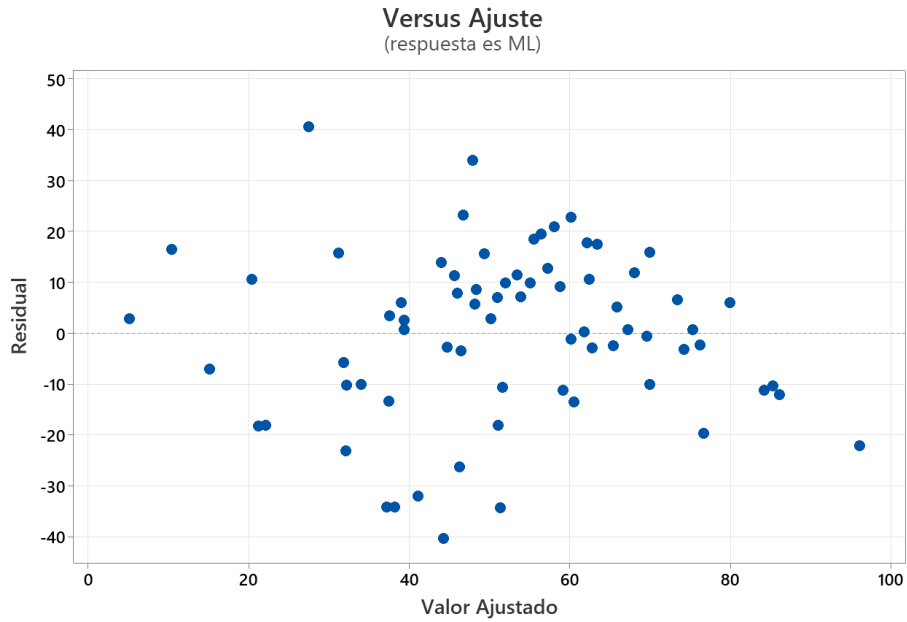


Figura 51. Residuales versus ajuste
Elaboración propia

- El supuesto de independencia de errores.

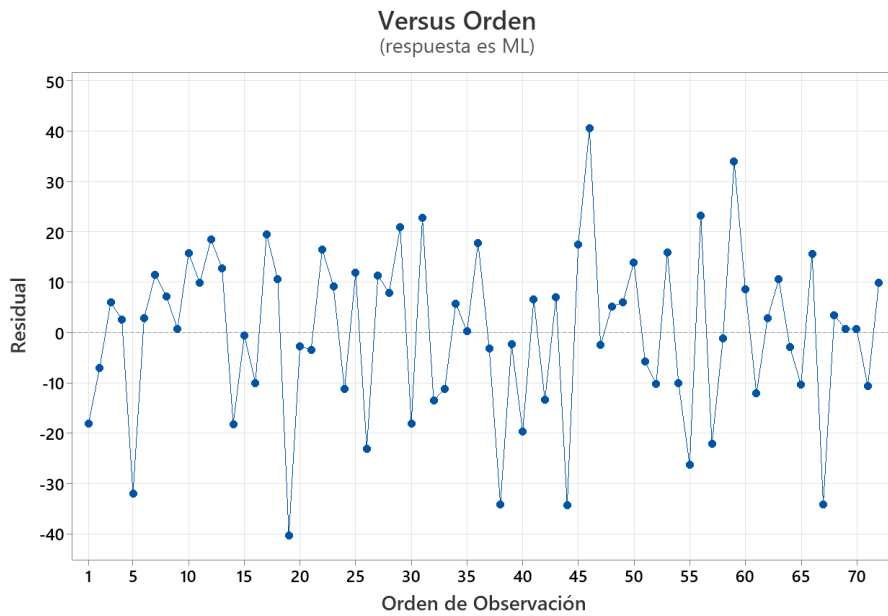


Figura 52. Residuales versus orden
Elaboración propia

Este supuesto también se ha cumplido ya que existe una tendencia o patrón aleatorio de los residuos respecto al orden en que se colectaron los datos.

3.2.5 Mejor Solución

Empleando la predicción de respuesta múltiple, se ha podido encontrar la mejor solución para maximizar el valor de respuesta del nivel de coincidencia ML, obteniendo una media prevista o estimada de 96.14 con un intervalo de confianza del 95%, las variables independientes/parámetros de proceso de marcado deben definirse de la siguiente manera.

Tabla 5. Condiciones del método de marcado propuesto.

Distancia	° Punzón	Fuerza
5 mm	60	50

Elaboración propia

Para maximizar el valor de respuesta del nivel de coincidencia ML durante la lectura, el lector debe instalarse en un ángulo de 30°.

Cabe recordar que se pintan productos con pintura electrostática y con pintura catafórica, así que no se puede discriminar alguna de las dos, dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 6. Condiciones del método de marcado y lectura propuesto.

Distancia	° Punzón	Fuerza	° Lector	Pintura
5 mm	60	50	30	

Elaboración propia

La predicción de respuesta múltiple del optimizador de respuesta también predijo un error estándar de 7.28, entonces se puede estimar que la media prevista es de 96.14 ± 7.28 .

En un intervalo de confianza del 95% se obtendrán valores del nivel de coincidencia entre 81.57 y 110.70, con estos valores se ha cumplido la hipótesis nula.

Para reafirmar la solución propuesta se analizó el valor de la función de deseabilidad compuesta (D) para evaluar que tan bien la configuración optimiza el conjunto de respuestas, la gráfica de optimización para la pintura electrostática muestra el máximo valor de la deseabilidad compuesta de 1 y un valor de respuesta del nivel de coincidencia de 96.1389.

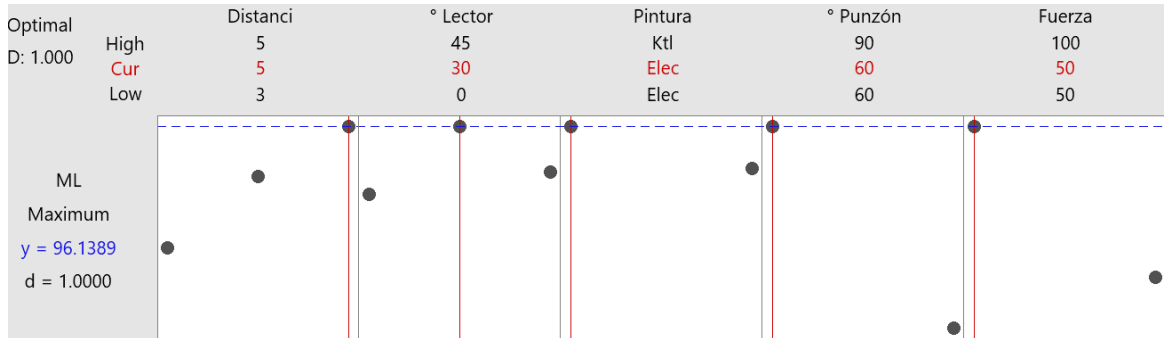


Figura 53. Gráfica de Optimización, Pintura Electrostática
Elaboración propia

La gráfica de optimización para la pintura catafórica muestra el máximo valor de deseabilidad compuesta de D=1 y un valor de respuesta del nivel de coincidencia de 86.1389.

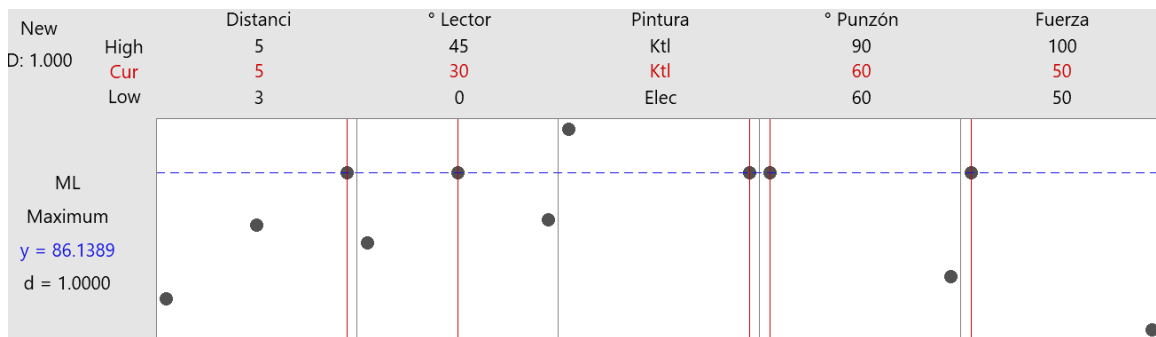


Figura 54. Gráfica de Optimización, Pintura Catafórica
Elaboración propia

CONCLUSIONES

El objetivo general del presente estudio se ha cumplido al determinar las condiciones del método de marcado directo de códigos 2D data matrix por micropunción sobre la carcasa del amortiguador [REDACTED], retomando la hipótesis planteada al comienzo de este estudio, ahora es posible afirmar que la hipótesis se satisface, ya que los datos parecen apoyarla, debido a que el nivel de coincidencia obtenido es mayor o igual a 60.

Los objetivos específicos también se han cumplido debido a la maximización del nivel de coincidencia del lector en un 80% que por consiguiente mejorará la efectividad general del equipo en un 0.5%, ya que se evitarán paros de línea por códigos ilegibles y piezas de descarte.

En este documento se ha explicado la importancia de la legibilidad del código 2D data matrix, variable dependiente o nivel de coincidencia, en el contexto de las variables independientes, la distancia de marcado, el ángulo del lector, el tipo de pintura, el ángulo de la punta del punzón y la fuerza de impacto del marcado se puede concluir que, a partir de los datos, las variables se deben mantener en las siguientes condiciones:

- La distancia entre la punta del punzón y el tubo depósito a marcar debe ser de 5 mm.
- El ángulo del lector respecto al tubo depósito marcado debe ser de 30°.
- La pintura, no muestra ninguna relación y no afecta la legibilidad, esta puede ser [REDACTED] o electrostática,
- El ángulo de la punta del punzón debe ser de 60°.
- La fuerza de impacto del punzón debe ser del 50%.

El control de las variables que afectan la consistencia del proceso es fundamental para un proceso exitoso de marcaje y de lectura por micropunción. Los sistemas de evidencia para la lectura del símbolo pueden proporcionar información sobre los parámetros del proceso hasta cierto punto, pero se deben implementar

procedimientos de operación y mantenimiento para el sistema de marcado, con el objeto de ayudar y garantizar una calidad constante del código, para verificar problemas como, por ejemplo, si la aguja de marcado está desgastada, se deben mantener los horarios para el mantenimiento programado, así también la superficies de marcado deben estar libres de óxido, decoloración o exceso de lubricante para mantener la legibilidad de los códigos.

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. 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 con 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 mercado del código 2D sobre los amortiguadores ya pintados, sin afectar el período de vida útil de la pintura.

APORTACIÓN DE LA TESIS

La definición y utilización de un método de grabado de códigos 2D data matrix sobre las carcasas de los amortiguadores mejora la identificación y trazabilidad del producto, incrementando el nivel de coincidencia del lector e incrementando la efectividad general del equipo. El método servirá como soporte para el futuro entrenamiento al personal tanto productivo y como de ingeniería de procesos con el fin de incrementar su conocimiento teórico y práctico, para que en el determinado caso de que se requiere comprar una máquina nueva, realizar un programa nuevo de marcado en una máquina actual o simplemente implementar el presente método, se tenga los conocimientos suficientes para enfrentar correctamente la situación. Así también se realiza una formal invitación para desarrollar las habilidades de investigación y análisis de información, aplicar y comprobar por ellos mismos la metodología de investigación descrita.

APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS

La definición y utilización de un método de grabado de códigos 2D data matrix sobre las carcasas de los amortiguadores incrementa la efectividad general del equipo, reduciendo el descarte de piezas no legibles, al evitar este tipo de piezas no legibles, se aprovecharán mejor los recursos materiales, disminuyendo los costos extras que genera la producción y requerimiento de materia prima adicional para poder sustituir el material ilegible, las diferentes cadenas de suministro se verán beneficiadas fabricando y distribuyendo la cantidad justa requerida, y se verá una disminución o eliminación de material residual que impactará los diversos sectores de la sociedad, desde el punto de vista laboral, social y económico.

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>
- Antony, J. (2003). Introduction to industrial experimentation. *Design of Experiments for Engineers and Scientists*, 1–5. <https://doi.org/10.1016/b978-075064709-0/50002-8>
- 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>
- Durakovic, B. (2017). Design of experiments application, concepts, examples: State of the art. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 5(3), 421–439.
<https://doi.org/10.21533/pen.v5i3.145>
- FEYERABEND. (2008). *Prefacio. Contra el método*.
- Gravotech, I. (2012). *Pneumatic Stylus - MON00293*.
- Gravotech, I. (2013). *Manual de usuario y mantenimiento del sistema ETG3500*. 1–71. <https://www.gravotech.com/products/dot-peen-scribing-machines/xf510p>
- Gravotech, I. (2017). *Technifor Dot peen & scribing*.
https://www.bibus.ro/fileadmin/editors/countries/birom/technifor/Dot_peen_Scribing_Pins___Stylus_Guide.pdf
- 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
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. <https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control->

estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf

Ike, H. (2006). Miniaturization of Dot Pattern by Metal Forming for Direct Marking of 2D Barcode Symbols. *Towards Synthesis of Micro-/Nano-Systems*, 1, 215–219. https://doi.org/10.1007/1-84628-559-3_36

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>

ISO. (2011). *ISO - ISO/IEC TR 29158:2011 - Information technology — Automatic identification and data capture techniques — Direct Part Mark (DPM) Quality Guideline*. <https://www.iso.org/standard/45237.html>

Jangsombatsiri, W., & Porter, J. D. (2006). Artificial neural network approach to Data Matrix laser direct part marking. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17(1), 133–147. <https://doi.org/10.1007/s10845-005-5517-x>

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>

Jesus, I. Q. J. D. E., Castro, C., Francisco, M. C. L., & Gonzales, V. (2014). *Optimización de variables de proceso para la reducción del tiempo de reproceso en el reactor tipo Batch , en la manufactura de adhesivos PU por medio de diseño experimental*.

Keyence. (2011). *ID CODE HANDBOOK [Direct Parts Marking Guide] Illumination method | KEYENCE America*. https://www.keyence.com/download/download/confirmation/?dlAssetId=AS_48200&dlSeriesId=&dlModelId=&dlLangId=&dlLangType=en-US

Keyence. (2017). *Barcode/Two-dimensional Code Verification Guide Book | KEYENCE America*. https://www.keyence.com/download/download/confirmation/?dlAssetId=AS_89438&dlSeriesId=&dlModelId=&dlLangId=&dlLangType=en-US

Keyence. (2019a). *1D/2D Code reader - SR-2000 | KEYENCE America*. https://www.keyence.com/download/download/confirmation/?dlAssetId=AS_89141&dlSeriesId=WS_SR57327

Keyence. (2019b). *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

Keyence. (2019c). *Basic Practice of 2D Codes Vol.2 [2D Code Implementation and Marking Size]*. https://www.keyence.com/download/download/confirmation/?dlAssetId=AS_105170&dlSeriesId=&dlModelId=&dlLangId=&dlLangType=en-US

Leone, C., Bassoli, E., Genna, S., & Gatto, A. (2018). Experimental investigation and optimisation of laser direct part marking of Inconel 718. *Optics and Lasers in*

- Engineering*, 111 (August), 154–166.
<https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2018.08.004>
- Li, X. S., He, W. P., Lei, L., Wang, J., Guo, G. F., Zhang, T. Y., & Yue, T. (2016). Laser direct marking applied to rasterizing miniature Data Matrix Code on aluminum alloy. *Optics and Laser Technology*, 77, 31–39.
<https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2015.08.020>
- 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/>
- Niebel, B. W., Ibarra, C., & Ana, S. (n.d.). *Ingeniería industrial: Métodos, estándares y diseño del trabajo Duodécima edición*.
https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38946441/Niebel_Capitulo_II.pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3DNiebel_Capitulo_II.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20191010%2Fus-east-1%2Fs3%2Fa
- Padfield, T., & Grasse, U. (2012). *Outer Tubes (welded & cold drawn) / Tubos depósito (soldados y estirados) Material Specification*. 2–3.
- Puga Villarreal, J., & Martínez Cerna, L. (2008). Competencias Directivas En Escenarios Globales. *Estudios Gerenciales*, 24(109), 87–103.
[https://doi.org/10.1016/s0123-5923\(08\)70054-8](https://doi.org/10.1016/s0123-5923(08)70054-8)
- Sánchez Tovar, Y., García Fernández, F., & Mendoza Flores, E. (2015). Determinantes de la capacidad de innovación regional en México. Una tipología de las regiones. *Región Y Sociedad*, 26(61).
<https://doi.org/10.22198/rys.2014.61.a62>
- Schuitemaker, R., & Xu, X. (2020). Product traceability in manufacturing: A technical review. *Procedia CIRP*, 93, 700–705.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.078>
- 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>
- Unglert, M. (2020). [REDACTED]
- Zivot, E., & Wang, J. (2006). Modeling financial time series with S-PLUS®. In *Modeling Financial Time Series with S-PLUS®*. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-32348-0>

ANEXOS

ANEXO A

Symbol size ^a		Data region		Mapping matrix size	Total codewords		Reed-Solomon block		Inter-leaved blocks	Maximum data capacity			% of codewords used for error correction	Max. correctable codewords Error/erasure ^b
Row	Col	Size	No.		Data	Error	Data	Error		Num.	Alphanum. ^d	Byte		
10	10	8 x 8	1	8 x 8	3	5	3	5	1	6	3	1	62,5	2/0
12	12	10 x 10	1	10 x 10	5	7	5	7	1	10	6	3	58,3	3/0
14	14	12 x 12	1	12 x 12	8	10	8	10	1	16	10	6	55,6	5/7
16	16	14 x 14	1	14 x 14	12	12	12	12	1	24	16	10	50	6/9
18	18	16 x 16	1	16 x 16	18	14	18	14	1	36	25	16	43,8	7/11
20	20	18 x 18	1	18 x 18	22	18	22	18	1	44	31	20	45	9/15
22	22	20 x 20	1	20 x 20	30	20	30	20	1	60	43	28	40	10/17
24	24	22 x 22	1	22 x 22	36	24	36	24	1	72	52	34	40	12/21
26	26	24 x 24	1	24 x 24	44	28	44	28	1	88	64	42	38,9	14/25
32	32	14 x 14	4	28 x 28	62	36	62	36	1	124	91	60	36,7	18/33
36	36	16 x 16	4	32 x 32	86	42	86	42	1	172	127	84	32,8	21/39
40	40	18 x 18	4	36 x 36	114	48	114	48	1	228	169	112	29,6	24/45
44	44	20 x 20	4	40 x 40	144	56	144	56	1	288	214	142	28	28/53
48	48	22 x 22	4	44 x 44	174	68	174	68	1	348	259	172	28,1	34/65
52	52	24 x 24	4	48 x 48	204	84	102	42	2	408	304	202	29,2	42/78
64	64	14 x 14	16	56 x 56	280	112	140	56	2	560	418	277	28,6	56/106
72	72	16 x 16	16	64 x 64	368	144	92	36	4	736	550	365	28,1	72/132
80	80	18 x 18	16	72 x 72	456	192	114	48	4	912	682	453	29,6	96/180
88	88	20 x 20	16	80 x 80	576	224	144	56	4	1 152	862	573	28	112/212
96	96	22 x 22	16	88 x 88	696	272	174	68	4	1 392	1 042	693	28,1	136/260
104	104	24 x 24	16	96 x 96	816	336	136	56	6	1 632	1 222	813	29,2	168/318
120	120	18 x 18	36	108 x 108	1 050	408	175	68	6	2 100	1 573	1 047	28	204/390
132	132	20 x 20	36	120 x 120	1 304	496	163	62	8	2 608	1 954	1 301	27,6	248/472
144	144	22 x 22	36	132 x 132	1 558	620	156	62	8 ^c	3 116	2 335	1 555	28,5	310/590
							155	62	2 ^c					
Rectangular Symbols														
8	18	6 x 16	1	6 x 16	5	7	5	7	1	10	6	3	58,3	3/0
8	32	6 x 14	2	6 x 28	10	11	10	11	1	20	13	8	52,4	5/0
12	26	10 x 24	1	10 x 24	16	14	16	14	1	32	22	14	46,7	7/11
12	36	10 x 16	2	10 x 32	22	18	22	18	1	44	31	20	45,0	9/15
16	36	14 x 16	2	14 x 32	32	24	32	24	1	64	46	30	42,9	12/21
16	48	14 x 22	2	14 x 44	49	28	49	28	1	98	72	47	36,4	14/25

^a symbol size does not include quiet zones

^b See 5.7.3

^c In the largest symbol (144 x 144), the first eight Reed-Solomon blocks are 218 codewords long encoding 156 data codewords, and the last two blocks encode 217 codewords (155 data codewords). All the blocks have 62 error correction codewords.

^d Based on text or C40 encoding without switching or shifting; for other encoding schemes, this value may vary depending on the mix and grouping of character sets

Figura A1. Atributos del código ECC 200 (ISO, 2006)

ANEXO B

Encodation scheme	Characters	Bits per data character
ASCII	double digit numerics	4
	ASCII values 0 - 127	8
	Extended ASCII values 128 - 255	16
C40	Upper-case alphanumeric	5,33
	Lower case and special characters	10,66 ^a
Text	Lower-case alphanumeric	5,33
	Upper case and special characters	10,66 ^b
X12	ANSI X12 EDI data set	5,33
EDIFACT	ASCII values 32 - 94	6
Base 256	All byte values 0 - 255	8
^a encoded as two C40 values as result of use of a shift character ^b encoded as two Text values as result of use of a shift character		

Figura B1. Esquemas de codificación para el código ECC 200
(ISO, 2006)