



**INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR DE GUANAJUATO**

**“DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE
METROLOGÍA PARA LA COMPARACIÓN
ELECTRÓNICA DE COMPONENTES AUTOMOTRICES
POR CONTACTO”**

TESIS

Presenta:

Delia Guadalupe Morán Granados

Con la asesoría de:

M.ED. Luis Armando Torres Pérez



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE GUANAJUATO

INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE TITULACIÓN

BAJO LA OPCIÓN NO. I "TESIS"

**“Diseño y desarrollo de un sistema de metrología para
la comparación electrónica de componentes
automotrices por contacto”**

Presenta:

Delia Guadalupe Morán Granados

Guanajuato, Gto. 16 de Octubre de 2020.

Dedicatoria

A Dios, por guiarme y brindarme fortaleza y la oportunidad de conocer estupendas personas a lo largo de mi vida, pero sobre todo le agradezco infinitamente por darme la fe necesaria, para jamás rendirme y siempre efectuar mis objetivos.

Dedico de manera especial a dos seres que hoy día no están entre nosotros; a mi hermano Gustavo quién fue el motor de nuestra familia y a mi abuelo Joaquín quién me enseñó a disfrutar de cada detalle de la vida, me aconsejo a lo largo de mi desarrollo y me dio su bendición a diario a lo largo de mi vida.

A la base de todo, mi familia: Mis padres, Enrique y Minerva, y a mi hermano Andrés, quienes son mi motor y mi constante motivación, muchas gracias por su paciencia y comprensión, y sobre todo por su amor, por confiar en mí.

A mis tíos y a mis abuelos, por llenarme siempre de amor y cariño, por ser el ejemplo perfecto de trabajo y humildad, y sobre todo por enseñarme el valor de las cosas y apoyarme siempre.

Agradecimientos

Existe una lista interminable de aquellas personas a las que quiero agradecer el apoyo y la compañía a lo largo de este camino, el cual ha estado lleno de muchos aprendizajes y grandes experiencias, extraordinarias en su generalidad.

Quiero agradecer a mis amigos y compañeros que son parte de este proyecto: *Omar Vázquez, Oswaldo Pérez y Alejandro Pérez*, quienes trabajaron a mi lado arduamente en este proyecto durante un período que fue nuevo, de gran experiencia y el comienzo de otros propósitos en nuestro desarrollo profesional, también no menos importante quiero agradecer a con quienes conviví y siempre estuvieron ahí impulsándonos codo a codo durante la trayectoria de esta carrera: *Jocelyn Romero, Fátima Rodríguez, Paloma Piñón y Víctor García*. A través del tiempo en esta carrera profesional fuimos fortaleciendo una amistad y creando una familia, muchas gracias por toda su colaboración, por convivir todo este tiempo conmigo, por compartir experiencias, alegrías, frustraciones, celebraciones y múltiples factores que ayudaron a que hoy seamos como una familia creciendo juntos. Así mismo, quiero expresar mi agradecimiento y mayor gratitud al Ingeniero *Luis Armando Torres Pérez* quién con su conocimiento y su guía fue una pieza clave para que pudiera desenvolver una clave de hechos que fueron imprescindibles para cada etapa en la que tuve la oportunidad y el honor de trabajar con él, pero sobre todo me ha llenado de conocimientos y apoyo durante mi desarrollo. De manera externa a quienes me apoyaron a la distancia y me motivaron a ser mejor: *Gemma Reséndiz, Fernanda Mendoza, Cynthia Márquez y Ariadna Zambrano*. quiero decirles que agradezco sus palabras y compañía en aquellos momentos que oscilaba.

Este nuevo logro es en gran parte de todos ustedes, hoy termino con éxito una etapa que, en un inicio, la veía muy lejana y quizás interminable. Quisiera brindar mi trabajo profesional a ustedes, de quienes solo he recibido apoyo y, sobre todo, ese impulso que me motiva a seguir dando lo mejor de mí en todo momento.

Resumen

Dentro de los procesos de aseguramiento de la calidad, las empresas automotrices, utilizan herramientas de gestión, así como mecanismos de comprobación de características de los materiales utilizados en la construcción de vehículos y autopartes, como los son los fixtures and gage.

En el presente se propone el diseño y desarrollo de un sistema de metrología con el fin de reducir los defectos por variación en el proceso de producción de componentes en las empresas automotrices, así como la generación de desperdicios (Scrap) por el reconocimiento tardío del incumplimiento de especificaciones y pérdidas económicas por la no conformidad de requerimientos en los lotes de producción hacia los clientes. Como primera etapa, se describe la metodología, así como el análisis funcional, metrología dimensional y análisis de los puntos críticos de un componente de apariencia metal-aluminio automotriz. En la segunda etapa se presenta el proceso de reconstrucción del componente, modelándolo por medio del diseño asistido por computadora (CAD), el análisis de riesgos y el proceso de manufactura asistida por computadora (CAM) del sistema de medición y comparación del componente; finalmente, se muestran los resultados, además de los beneficios obtenidos, mediante el sistema de comparación de especificaciones contra el proceso de metrología dimensional utilizado en las líneas de producción de forma tradicional. El método propuesto reduce el tiempo de respuesta y el análisis de las piezas en más de un 60%.

Índice general

Contenido

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen	4
Índice general	5
Índice de figuras	8
Introducción	13
Capítulo 1	15
Generalidades del proyecto	15
Capítulo 2	22
Marco teórico	22
2.1. Fundamento teórico	23
2.1.1. Prototipado rápido	23
2.1.2. Ingeniería Concurrente	25
2.1.3. Diseño asistido por computadora	26
2.1.4. Ingeniería asistida por computadora	28
2.1.5. Manufactura asistida por computadora	29
2.1.6. Manufactura aplicada	31
2.1.7. Realidad aumentada	37
2.1.8. Metrología	40
2.1.8.1. Metrología dimensional	41
2.1.8.2. Análisis del sistema de medición	42
2.1.9. Gestión de la calidad	48
2.2. Antecedentes	49

Capítulo 3	50
Metodología	50
3.1. Materiales	51
3.2. Metodología	52
3.3. Descripción del caso	55
3.4. Aplicación de la metodología al caso de estudio	56
3.4.1. Definición de especificaciones	56
3.4.2. Diseño conceptual	64
3.4.3. Desarrollo del prototipo	72
3.4.4. Pruebas del Usuario	80
3.4.5. Auditoría y seguimiento	85
Capítulo 4	87
Discusión y análisis de resultados	87
4.1. Resultados	88
4.2. Importancia o trascendencia	91
4.3. Conclusiones y recomendaciones	91
Anexos	93
Anexo 1. Ficha Técnica	94
Anexo 2. Ficha Técnica	95
Anexo 3. Ficha Técnica	96
Anexo 4. Ficha Técnica	97
Anexo 5. Dibujo técnico de la pieza	98
Anexo 6. Componentes del diseño pensados en poderse manufacturar en PLA.	99
Anexo 7. Componentes del diseño pensados en poderse manufacturar en aluminio.	107
Anexo 8. BOM de elementos electrónicos.	109
Anexo 9. Código Arduino	110
Anexo 10. AMEF de Diseño	117
Anexo 11. Propósito del dispositivo, las recomendaciones realizadas, el método de uso para la evaluación.	119
Manual de operación	119

Condiciones y recomendaciones básicas de operación	119
Instrucciones de uso	120
Anexo 12. Toma de decisiones basado en la medición.	122
Control de proceso	122
Anexo 13. Programa de mantenimiento.	123
Manual de mantenimiento, lista de montaje y especificaciones.	123
Programa de mantenimiento de la placa	125
Herramientas de medición	125
Pluma	126
Cono	126
Mango	127
Conexión	127
Micro Switch	128
Sensor ultrasónico	130
Mantenimiento de Tarjeta Principal.	131
Pantalla LCD	132
Módulo de Tarjeta Micro SD	133
Anexo 14. Formato de orden de trabajo.	135
Anexo 15. Dibujos Técnicos de componentes de PLC y Aluminio.	136
Anexo 16. Dibujos Técnicos de componentes electrónicos	143
Bibliografía y referencias	147
Referencias	151

Índice de figuras

Contenido

Figura 1. Representación de las fases de la Metodología de Prototipado Rápido de autoría propia.....	24
Figura 2. Representación de las fases del Diseño Asistido por Computadora de autoría propia.	26
Figura 3. Representación de las fases de la Ingeniería Asistido por Computadora de autoría propia.....	28
Figura 4. Representación de las fases de la Manufactura Asistida por Computadora de autoría propia.....	29
Figura 5. Representación de los distintos tipos de equipos programables de autoría propia.	30
Figura 6. Ejemplo de Poka Yoke. Un trabajador puede conectar una pieza a otra de una sola manera [24].	31
Figura 7. Representación de las 5's y su significado de autoría propia.	32
Figura 8. Reglas en las que se basa la metodología Kanban [25].	33
Figura 9. Representación de las etapas de implementación de SMED de autoría propia.	34
Figura 10. Representación de las etapas de implementación de Kaizen de autoría propia.	36
Figura 11. Aplicaciones para la AR en la manufactura [29].	37
Figura 12. Imágenes de autoría propia del uso de la realidad aumentada por medio de códigos QR.	38
Figura 13. Representación de las fases de desarrollo de realidad aumentada de autoría propia.	39
Figura 14. Imagen de autoría propia de la medición del diámetro de u cable con un calibre.	41
Figura 15. Imagen propia del formato AMEF y su método de desarrollo.	43
Figura 16. Softwares utilizados para el desarrollo del proyecto.	51

Figura 17. Metodología MPR aplicada a procesos de ingeniería concurrente de autoría propia.	53
Figura 18. Visualización de pieza de aluminio.....	55
Figura 19. Clasificación de las aleaciones de aluminio y su nomenclatura.....	57
Figura 20. Localización de la pieza en el auto.....	59
Figura 21. Localización de la pieza en la 5ta puerta	59
Figura 22. Elementos críticos de la pieza.....	60
Figura 23. Representación de autoría propia de un Go-NoGo.	61
Figura 24. Ilustración de autoría propia de la evaluación de las curvas de la pieza.	62
Figura 25. Ilustración de autoría propia de la calibración de un medidor de carátula.	63
Figura 26. Ilustración de autoría propia de la evaluación del recorrido del brazo.	63
Figura 27. Medición y captura de las mediciones de la pieza.....	64
Figura 28. Desarrollo de un proceso de perfilometría.....	65
Figura 29. Modelo 3D de la pieza.	66
Figura 30. Comparación de la pieza impresa a escala y la pieza real.	66
Figura 31. GD&T con los DATUMS y simbología respectiva a la pieza.....	67
Figura 32. Discusión de las mejoras del prototipo utilizando conversational prototyping.	68
Figura 33. Diseño conceptual del F&G utilizando conversational prototyping.....	68
Figura 34. Diseño del F&G sin la pieza.	70
Figura 35. Diseño y definición de componentes electrónicos.	71
Figura 36. Simulación del manejo de la pieza con el F&G.	72
Figura 37. Simulación del código G y M de un componente.....	73
Figura 38. Simulación del código G y E de la impresión 3D de un componente.....	74
Figura 39. Evidencias del proceso de manufactura.....	75
Figura 40. Evaluación de los valores de la base de comparación.	76
Figura 41. Esquema técnico del circuito del sistema de medición.....	77
Figura 42. Esquema técnico del circuito del sistema de medición.....	78
Figura 43. Ilustración del proceso de desarrollo de AR integrando Visual Studio y Unity.	80
Figura 44. Armado de plumas de PLC con cavidades de prueba para R&R.	81
Figura 45. Ficha técnica GD&T con DATUMS de la pieza	88
Figura 46. Forma final del F&G y el sistema de medición.	89
Figura 47. Ficha técnica GD&T con DATUMS de la pieza 1	94
Figura 48. Ficha técnica GD&T con DATUMS de la pieza 2	95

Figura 49. Ficha técnica GD&T con DATUMS de la pieza 3	96
Figura 50. Ficha técnica GD&T con DATUMS de la pieza 4	97
Figura 51. Dibujo técnico de la pieza.	98
Figura 52. Componentes de pluma orificio E1.....	99
Figura 53. Componentes de pluma orificio E2.....	100
Figura 54. Componentes de pluma orificio E3.....	101
Figura 55. Componentes de pluma orificio E4.....	102
Figura 56. Componentes de pluma orificio E5.....	103
Figura 57. Componentes para pruebas de atributos pluma 1	104
Figura 58. Componentes para pruebas de atributos pluma 2.....	104
Figura 59. Componentes para pruebas de atributos pluma 3.....	105
Figura 60. Componentes para pruebas de atributos pluma 4.....	105
Figura 61. Componentes para pruebas de atributos pluma 5.....	106
Figura 62. Soporte para apoyo en posicionamiento de pieza.....	106
Figura 63. Base y soporte para sujetar medidor de caratula.	107
Figura 64. 2do Soporte para posicionamiento de pieza.	107
Figura 65. 1er Soporte para posicionamiento de pieza.	107
Figura 66. Ensamble de perfiles con placa de aluminio.	107
Figura 67. Bases de 90° para posicionar Sensores Ultrasónicos.	107
Figura 68. Corte y unión de perfiles base.....	107
Figura 69. Bases para colocación de Micro Switchs	107
Figura 70. Conexiones para tornillos sin fin	108
Figura 71. Declaración de Pines	110
Figura 72. Declaración de variables y pines para pantalla LCD.	111
Figura 73. Transmisión de datos para función de sensores ultrasónicos.	112
Figura 74. Declaración de acciones para LEDs y Switch de las 6 cavidades.	113
Figura 75. Desglose de declaración de acciones para LEDs y Switch de Cavidad 1.....	115
Figura 76. Funcionamiento de la pluma de PLC con el circuito electrónico.....	116
Figura 77. Finalización del código y de sensores ultrasónicos.	116
Figura 78. AMEF del diseño del F&G. Parte 1.	117
Figura 79. AMEF del diseño del F&G. Parte 2.	118
Figura 80. Ejemplo de uso de los componentes.....	121
Figura 81. Plan de mantenimiento de la placa.	125

Figura 82. Ensamble de pieza	126
Figura 83. Plan de Mantenimiento del cono de la pluma.....	126
Figura 84. Plan de Mantenimiento del Mango de la pluma.....	127
Figura 85. Plan de Mantenimiento de Conexión de la pluma.....	128
Figura 86. Plan de Mantenimiento de Micro Switch.....	129
Figura 87. Plan de mantenimiento de sensores ultrasónicos.	130
Figura 88. Plan de mantenimiento de la Tarjeta Principal.	131
Figura 89. Plan de Mantenimiento de Pantalla LCD.....	132
Figura 90. Plan de Mantenimiento Modulo de Tarjeta SD.	133
Figura 91. Plan de Mantenimiento Reloj de Tiempo Real.....	134
Figura 92. Formato de Orden de Trabajo.....	135
Figura 93. Base de perfil.....	136
Figura 94. Placa base	136
Figura 95. Soporte 1	137
Figura 96. Soporte 2	137
Figura 97. Unión 2	138
Figura 98. Base porta Switch	138
Figura 99. Base de Sensor 2	139
Figura 100. Base para Sensor 1	139
Figura 101. Unión 1	140
Figura 102. Unión 3	140
Figura 103. Tornillos y tuercas para placa	141
Figura 104. Soporte para pieza.....	141
Figura 105. Componentes para soporte para medidor de caratula.....	142
Figura 106. Medidor de caratula	142
Figura 107. Caja de acrílico	143
Figura 108. Pantalla LCD.....	143
Figura 109. LED.....	144
Figura 110. Arduino	144
Figura 111. Placa fenólica	145
Figura 112. SD Card.....	145
Figura 113. Ensamble Final	146

Índice de tablas y gráficas

Contenido

Tabla 1. Porcentaje de variación del estudio R&R y su significado.	44
Tabla 2. Tabla de resumen ANOVA.	45
Tabla 3. Resumen de resultados de la concordancia de atributos.	90
Tabla 4. Tabla BOM de elementos electrónicos.	109
Tabla 5. Especificaciones de componentes parte 1	123
Tabla 6. Especificaciones de componentes parte 2	124
Gráfico 1. Modelo P-A-F clásico de autoría propia desarrollado en GeoGebra.	19
Gráfico 2. Tiempo de desarrollo del diseño secuencial vs. Ingeniería concurrente, de autoría propia desarrollado en GeoGebra.	25
Gráfico 3. Conocimientos particulares de metrología en la industria automotriz [34].	40
Gráfico 4. Análisis R&R en base a las curvas de repetibilidad y reproducibilidad [38].	44
Gráfico 5. Idea y elementos de una carta de control [39].	46
Gráfico 6.. Análisis gráfico de linealidad y Sesgo.	47
Gráfico 7. Ejemplo del resumen de evaluaciones realizadas en un turno.	79
Gráfico 8. Análisis de pluma 1 – Cavidad 1	82
Gráfico 9. Análisis de pluma 2 - Cavidad 2	82
Gráfico 10. Análisis de pluma 3 – Cavidad 3.	83
Gráfico 11. Análisis de pluma 4 – Cavidad 4 y 6.	83
Gráfico 12. Análisis de pluma 5 - Cavidad 5	84

Introducción

La industria automotriz, en México, se integra por la fabricación y ensamble de vehículos automotores (automóviles, camiones ligeros, autobuses, camiones pesados y tractocamiones); y por la fabricación de motores, autopartes y accesorios. Esta actividad económica aportó 3% del producto interno bruto (PIB) nacional y 17% del PIB manufacturero en 2017. En este año, en 10 estados se concentró el 95% de la producción de automóviles y camiones; el estado de Guanajuato ocupó el 5to lugar con 10.4% del total, por debajo de Sonora, Coahuila, Puebla y el Estado de México ^[1].

Adicionalmente, según la Secretaría de Desarrollo económico Sustentable (2020), En febrero de este año, la producción de vehículos en nuestro país fue de 326,183 unidades, 4.5% por arriba de los fabricados en el mismo mes de 2019 (13,903 unidades menos), debido al incremento de 4.4% de la producción de algunas de las marcas afiliadas a la Asociación Mexicana de la Industria Automotriz (AMIA) ^[2].

Dentro de los procesos de aseguramiento de la calidad, las empresas automotrices, utilizan herramientas de gestión, así como mecanismos de comprobación de características de los materiales utilizados en la construcción de vehículos y autopartes, como los son los fixtures and gage.

De acuerdo con los requisitos del sector y la evolución tecnológica actual de sus procesos, se reconoce que las preocupaciones y necesidades clave de dicha industria son: salvaguardar la calidad de los procesos, componentes y productos; gestionar los recursos adecuadamente para el cumplimiento de requisitos establecidos por el cliente e incrementar los volúmenes de ventas para generar ganancias. Dentro del apartado de aseguramiento de la calidad, las organizaciones están enfocadas al desarrollo de mecanismos de comprobación de características de los materiales, componentes y productos, para poder mantener procesos eficientes y de calidad. Por otra parte, para garantizar un sistema de gestión de la

[1] Secretaría de Economía. (2016). The Automotive Industry in Mexico.

[2] Secretaría de Economía. (2020). Vehicle production increased 4.5% in February

calidad en cualquier tipo de organización es relevante contar con calidad en las medidas, ya que en los procesos industriales se recopila una vasta cantidad de datos que determinan el cumplimiento de las especificaciones técnicas de los bienes producidos; a su vez, permiten detectar tendencias en los procesos, lo que conduce a su regulación y, por lo tanto, a la búsqueda del mejoramiento continuo. Algunos ejemplos de herramientas que ayudan al cumplimiento de las especificaciones técnicas son los llamados Checking Fixture y Checking Gage. El primero se refiere a un dispositivo que es utilizado para la localización, posición y ubicación específica de un punto o de una medida requerida, los cuales son una necesidad para la industria, permitiendo optimizar su productividad y conformidad de tal forma de asegurar su calidad, así como, la capacidad de intercambio agilizando el trabajo de la máquina y el trabajador [3].

El segundo se refiere a un indicador de control, el cual es un medidor diseñado de manera que el usuario pueda cambiar intencionalmente la característica metrológica nominal inherente [4].

Es por la razón anterior que un Checking Gage, es utilizado como herramienta de inspección dentro de las áreas de producción, para ayudar a los trabajadores en la toma de decisiones sobre el estado de calidad de un producto.

Es con estos argumentos que por medio del presente proyecto, se desarrollará un sistema de metrología para la comparación electrónica de componentes automotrices por contacto. El cual tiene como fundamento metodologías de la industria 4.0, las cuales fundamentalmente son internet de las cosas (IoT), realidad aumentada (AR) y Big Data, lo cual generará un sistema que permitirá evaluar la confiabilidad de los componentes producidos, para poder asegurar las características y requerimientos solicitados por el cliente, así como reducir la variación en los procesos productivos, lo cual disminuirá la cantidad de defectos, desperdicios y en consecuencia su impacto financiero en la organización.

[3] Díaz, J.; Zapata, E.; Cabrera, C.; Vázquez, F.; Ayala, E. (2016). Diseño y desarrollo de un dispositivo de medición Fixture & Gage para la medición de piezas automotrices con aplicación didáctica en la UPSRJ.

[4] International Organization for Standardization. (2015). Norma Internacional ISO 1938-1 (2015).

Capítulo 1

Generalidades del proyecto

1.1. Planteamiento del problema

El 25 de enero del 2019, en la ciudad de Celaya, se creó el Centro Tecnológico de Diseño, Análisis y Fabricación de Moldes para Inyección de Plástico, el cual está conformado por Docentes, alumnos e investigadores del Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo de Celaya (CRODE Celaya), institución perteneciente al Tecnológico Nacional de México (TecNM).

Felipe Cazares López, director del CRODE Celaya, menciona que el estado de Guanajuato ha incrementado la inversión en el sector automotriz, razón por la cual, se ha determinado que se deben cubrir las principales necesidades relacionadas con la proveeduría local [5].

Este argumento se vuelve de interés, ya que según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en su reporte realizado en el año 2019 a nivel nacional, la fabricación de autopartes ocupó el primer lugar en la generación de artículos, estos objetos se valoraron en 19 mil 877 millones de pesos, hasta mayo de 2018 [6].

Una necesidad que siempre se encuentra presente dentro del sector, es contar con personal que tenga conocimientos sobre: Manufactura, Calidad, Producción, Mecatrónica, Química, Metrología, Seguridad e higiene, entre otros. En el apartado de la calidad las necesidades se enfocan al conocimiento del proceso de medición para validar que la producción cumple con las especificaciones y a su vez, en la validación en líneas de producción que se hace con dispositivos o sistemas de medición llamados checking fixture o gage [7].

Esta necesidad es muy importante, ya que hasta la fecha y según estudios desarrollados por la Secretaría de Economía (SE), en México se importa en su mayoría de veces el material especializado para el desarrollo de procesos de manufactura avanzada, ya que en un pequeño porcentaje de los casos el personal

[5] Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo. (2019). CRODE Celaya presenta proyecto de moldes de inyección de plásticos.

[6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM).

[7] Tapia, H. (2010). Conceptualización, diseño y desarrollo de estación didáctica para metrología industrial.

no está capacitado y ni es especializado para dicha labor; por otra parte, en la mayoría de los casos, se observa este comportamiento en la industria por la falta de promoción de la ingeniería de diseño y los procesos de manufactura entre las empresas, pese a que se cuenta con personal capacitado para realizar dichas tareas dentro de las mismas organizaciones o bien, personal especializado dentro de la región [8].

Esta situación origina que en caso de que existieran daños o errores en alguna pieza debido al desgaste o desperfectos del molde, es necesario detener los procesos de producción mientras que el proveedor de los moldes programa a un equipo técnico especializado para realizar la reparación del mismo. Es importante señalar, que debido a que los mayores proveedores de dichos productos y servicios son China y Estados Unidos, se debe de evaluar entre otras variables, el tiempo de respuesta, nivel de experiencia del proveedor y costo de reparación o producción, ya que un molde que se produce en Estados Unidos es tres veces más caro que uno fabricado en China, pero el tiempo de respuesta es mayor en uno de China con respecto al de Estados Unidos [9].

A este tipo de problemas se les conoce como costos de la calidad por fallos internos, los cuales alcanzan del 70 al 85% de los costos de la calidad de una organización [10].

Adicionalmente, las organizaciones no se percatan del costo de la mala calidad por fallos internos, debido a que no llevan los registros suficientes o se hacen de una forma incorrecta, además de que no se evalúa el desempeño del proceso [11].

[8] Secretaría de Economía (2017). 12-189 Estudio de prospectiva tecnológica para la manufactura de troqueles y su aplicación en el contexto nacional.

[9] Ramírez, R. (2018, 3 de agosto). Desaprovechan en México el potencial de herramientas. Vanguardia MX.

[10] Sotolongo, J. (2001). Costos de la calidad, su estructura e implementación.

[11] García, M. (2002). Costo de la calidad y de la mala calidad.

1.2. Justificación

El desarrollo del sistema de medición permitirá obtener un dispositivo que será capaz dentro del sector automotriz de brindar soluciones respecto al aseguramiento de la calidad, validación de componentes y trazabilidad de los procesos, lo cual reducirá el tiempo de validación de componentes, así como la conformidad de un lote de producción y la mejora en la evaluación de las características y especificaciones de las piezas evaluadas, las cuales pueden ser metálicas o plásticas. Dicho desarrollo puede ser sujeto a patente, la cual se buscará posteriormente someter a dicho proceso, además de que permitirá en futuras investigaciones desarrollar métodos de metrología sin contacto, el cual es una tendencia actual dentro de los procesos de medición y aseguramiento de la calidad por parte del órgano que regula los procesos de medición, el Centro Nacional de Metrología (CENAM), del cual ya se ha obtenido reconocimiento por el desarrollo de prototipos de esta tendencia.

Desde el apartado institucional, ayudará a robustecer los proyectos de las líneas de investigación actuales y la vinculación con el entorno próximo.

1.3. Viabilidad

Para explicar la viabilidad de este proyecto, es necesario tomar en cuenta, que desde la época de los 50's y hasta la fecha, dentro de los procesos de manufactura del sector automotriz, se han implementado una serie de recursos que permiten reducir las inspecciones dentro del proceso productivo para que las validaciones no generen altos costos, tiempos o inclusive incertidumbre. Dicho pensamiento está basado en el modelo de costo de fallos incluyendo costos de oportunidad (de sus siglas en inglés P-A-F, que se traducen en prevención, evaluación y fallos) el cual describe por medio de una gráfica, que la calidad tiene de forma natural un costo total (f) que se puede medir del 0% al 100% y que dicho costo y comportamiento está influenciado por dos elementos que aumentan o disminuyen la conformidad del producto: los índices de fallos (h) y los costos de prevención y evaluación (g). A mayor nivel de fallos, menor calidad tendrá el producto y su costo será mayor debido a los reprocesos y ajustes necesarios en la producción. A mayor prevención y evaluación, mayor será el costo por el tiempo de evaluación, así como por el equipo especializado necesario. Es por esta razón que se busca comúnmente el costo óptimo de la calidad (A) [12].

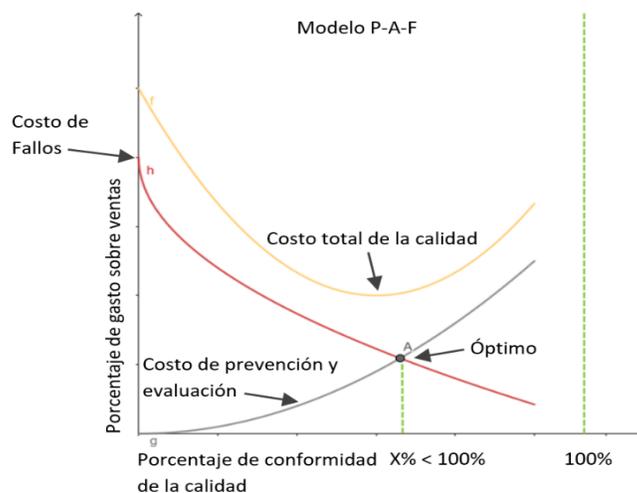


Gráfico 1. Modelo P-A-F clásico de autoría propia desarrollado en GeoGebra.

[12] Arsalan, M.; Kirchaina, R.; Novoa, H.; Araujo, A. (2017). Cost of quality: Evaluating cost-quality trade-offs for inspection strategies of manufacturing processes.

Desde el apartado técnico del que parte el pensamiento anterior, el presente proyecto ayudó en la generación de un dispositivo que eficiente los tiempos del proceso de evaluación, al contemplar dentro de las etapas de su desarrollo, procesos enfocados al aseguramiento de la calidad tales como la ingeniería asistida por computadora, simulaciones, análisis del sistema de medición, estudios de tiempos de proceso y ergonomía del dispositivo.

Desde el apartado económico, el proyecto brinda una solución altamente costeable por las organizaciones, al desarrollar un dispositivo con fundamento en la metodología de prototipado rápido, el estudio de costos, el desarrollo de instrucciones de trabajo y la manufactura asistida por computadora.

Es muy importante aclarar, que para el logro del presente proyecto se empleó los recursos materiales del instituto tecnológico superior de Guanajuato, así como el recurso financiero proporcionados por el Tecnológico Nacional de México para su desarrollo y el enfoque fue hacia uno de los sectores económicos más importantes del estado de Guanajuato. Por lo que, partiendo de las metodologías del apartado técnico y económico de esta tesis, se concretó el proyecto en un periodo no mayor a un año.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y desarrollar un sistema de validación de especificaciones de componentes automotrices en línea de producción para asegurar el nivel de cumplimiento de las características y tolerancias dentro del proceso de manufactura, los cuales deben de apegarse a los parámetros establecidos en la normatividad.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Analizar e identificar la funcionalidad de los componentes automotrices, así como los puntos de referencia (DATUMS) y puntos críticos por medio de metrología dimensional.
2. Diseñar los elementos físicos del sistema de lectura por contacto mediante procesos de diseño robusto de productos y procesos, diseño asistido por computadora (CAD), ingeniería asistida por computadora (CAE) y manufactura asistida por computadora (CAM).
3. Desarrollar la programación del módulo de lectura en base a los parámetros y especificaciones del componente dentro de la norma ASME 14.5.
4. Realizar pruebas de confiabilidad, así como análisis del sistema de medición (MSA) del proceso y el desarrollo de un manual digital que funcionará por medio de realidad aumentada (AR).

Capítulo 2

Marco teórico

2.1. Fundamento teórico

Debido a que es necesario plantear los conocimientos conectados dentro del proceso de manufactura al cual va dirigido el presente proyecto, se realizará una síntesis de los aspectos sobresalientes de las áreas más importantes del proceso de desarrollo de Fixture & Gage (F&G).

2.1.1. Prototipado rápido

El prototipado rápido (RP de sus siglas en inglés de rapid prototyping), es una técnica conocida como técnica generativa, en la cual sufre una evolución una idea con el fin de poder concretar el concepto final de un modelo. Durante dicho proceso, los objetos pueden ser producidos con diferentes complejidades geométricas sin involucrar la configuración de la máquina o el ensamblaje final. Los objetos se pueden producir empleando diferentes tipos de materiales, como compuestos. Además, con una conducción controlada, se pueden usar diferentes materiales en diferentes lugares de un objeto. La construcción de objetos complejos puede ser rápida, conveniente y sin complicaciones mediante sistemas de fabricación aditiva ^[13].

Actualmente, el RP es utilizado para el desarrollo de prototipos en diversos campos de la ciencia, con el objetivo de reproducir objetos reales o bien desarrollar dispositivos inexistentes o innovadores. El RP es una técnica que ha incrementado su desarrollo y uso dentro de los distintos campos de la ciencia debido a los avances dentro de los procesos de manufactura, ya que a menudo se utiliza los procesos de manufactura aditiva, simulación por medio de modelos 3D, realidad aumentada o manufactura avanzada ^[14].

[13] Andonović V.; Vrtanoski G.; Vrtanoski G. (2010). Growing rapid prototyping as a technology in dental medicine.

[14] Torabi, K.; Farjood, E.; Hamedani, S. (2015). Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature.



Figura 1. Representación de las fases de la Metodología de Prototipado Rápido de autoría propia.

La metodología general del RP considera seis fases para su desarrollo. En la primera fase, se evalúa las aplicaciones existentes, así como las necesidades existentes y los planes de trabajo para definir las especificaciones del prototipo. En la segunda fase, se define un equipo de desarrollo, así como sus actividades y una ficha técnica de especificaciones para poder realizar un modelo conceptual, que usualmente utiliza herramientas de modelado 3D. En la tercera fase se define un dibujo técnico del modelo, así como una hoja de componentes y las especificaciones de manufactura para el desarrollo del prototipo. En la cuarta etapa se realiza la normalización del prototipo, por lo que se realiza una serie de pruebas para demostrar su funcionalidad y confiabilidad. En la quinta etapa se implanta en el proceso productivo y por último en la sexta etapa se da seguimiento operativo al dispositivo y al proceso [15].

Una ventaja importante de la metodología antes mencionada es que permite planificar, producir y desarrollar modelos de una forma acelerada, por lo que ayuda a reducir el índice de fallas al permitir una pronta evaluación y validación de los mismos [16].

[15] Pressman, R. (2010). Ingeniería del software. Un enfoque Práctico.

[16] Chang, K. (2015). E-Design.

2.1.2. Ingeniería Concurrente

La ingeniería concurrente tiene como objetivo principal la obtención de un enfoque sistemático para el diseño simultáneo interdisciplinar de un producto y los procesos que conlleva, para así conseguir el producto correcto reduciendo costos y tiempo [17].

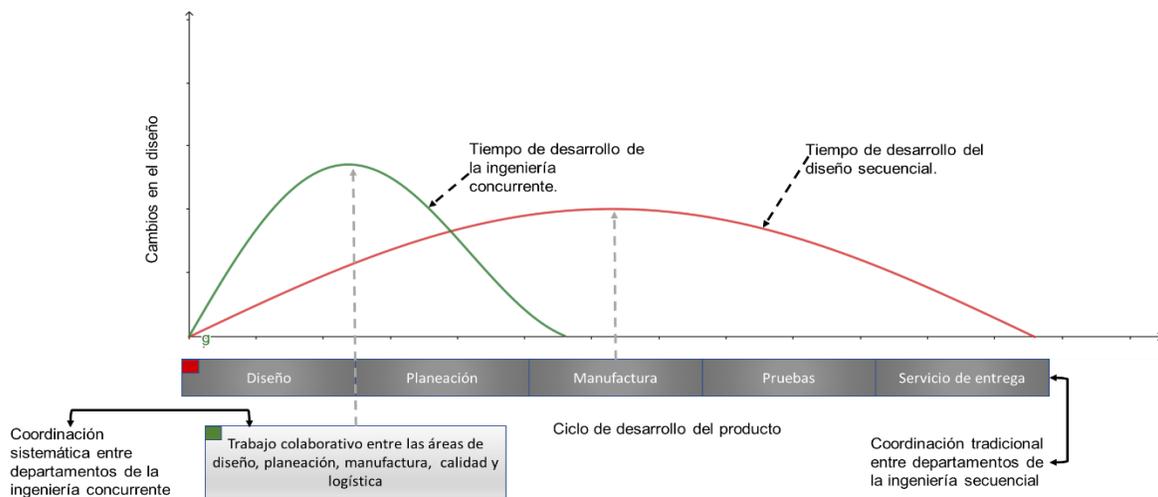


Gráfico 2. Tiempo de desarrollo del diseño secuencial vs. Ingeniería concurrente, de autoría propia desarrollado en GeoGebra.

El proceso de ingeniería concurrente consta de las siguientes fases: definición, conceptualización, diseño de especificaciones, ingeniería del producto, producción, comercialización y reciclaje.

Este proceso origina tiempos de planeación y desarrollo más cortos debido a la integración de los participantes, la rápida toma de decisiones, la reducción de tareas, el tiempo corto de respuesta, la eficiencia de las operaciones y la realización de actividades en paralelo. En esta metodología se busca integrar a todos los departamentos de una organización durante el proceso de diseño y planeación, eliminando las barreras presentes debido a la división de las operaciones. El proceso busca retroalimentar desde todas las partes interesadas al proceso creativo para el desarrollo de un producto robusto.

[17] Guerrero, C.; Torres, E.; Sanz, V.; Juárez, D. (2014). Aspectos destacables de la ingeniería concurrente.

2.1.3. Diseño asistido por computadora

El diseño asistido por computadora (CAD), a menudo se usa para ayudar en la creación, modificación, análisis u optimización de diseños ya sea de primera creación o en proceso de fabricación. El sistema CAD actual está diseñado principalmente para su uso con técnicas de fabricación convencionales donde los círculos simples y las líneas rectas son suficientes [18].

Este proceso en base a la experiencia del diseñador puede ir evolucionando hasta un punto en que se puede utilizar maquinaria especializada y desarrollar modelos y formas irregulares. El CAD se usa típicamente en la industria para diseñar modelos conceptuales o bien para desarrollar prototipos de componentes de manufactura.



Figura 2. Representación de las fases del Diseño Asistido por Computadora de autoría propia.

El CAD consta de seis fases las cuales deben de considerar previamente 3 etapas tempranas en las que se realiza lo siguiente:

1. Necesidades del diseño
2. Definición del diseño, así como sus requerimientos y especificaciones.
3. Recolección de la información relevante del diseño y desarrollo de un estudio de factibilidad.

[18] Chua, C.; Wong, C.; Yeong, W. (2017). Standards, Quality Control, and Measurement Sciences in 3D Printing and Additive Manufacturing.

Considerando las fases previas antes mencionadas y una vez que se obtiene la información necesaria de ellas, lo primero que se realiza es integrar todo lo recabado sobre las necesidades que solucionará, los requerimientos y especificaciones, además de la factibilidad económica para conceptualizar el diseño. En la segunda fase se desarrolla el modelado 3D del dispositivo y se ejecutan simulaciones para determinar su funcionalidad, ergonomía y manejo; este proceso es importante ya que en él se comparan las necesidades con las capacidades físicas funcionales. En la tercera fase se analizan los resultados de las simulaciones, así como las características del diseño para que posteriormente estos datos ayuden en el proceso de manufactura y en el proceso de obtención de materia prima. En la cuarta fase evalúa la funcionalidad del dispositivo, en este proceso se reconocen las posibles fallas para en robustecer el diseño. En la quinta etapa se evalúa la confiabilidad del diseño para poder comprobar el índice de capacidad y vida útil del dispositivo final, en caso de que se encuentren problemas críticos durante el proceso, se tiene que replantear el diseño, regresándolo a la segunda fase; por otra parte, si el modelo ha sido validado y no se ha encontrado ninguna falla en la simulación, se documenta el diseño, pasando los requerimientos y resultados de las simulaciones a los procesos de ingeniería asistida por computadora (CAE) y manufactura asistida por computadora (CAM).

Cuando CAD es integrado con la ingeniería asistida por computadora (CAE); Los usuarios tienden a utilizar el modelo detallado de un objeto sólido de CAD para el análisis de ingeniería. Sin embargo, el diseño detallado de un objeto sólido puede incluir muchas características, que no son lo suficientemente significativas como para afectar la precisión del estudio de análisis. Estas características deben suprimirse para facilitar un proceso de mallado. El diseñador debe hacer un buen juicio de ingeniería para determinar si se puede suprimir cierta característica. Algunas características pequeñas pueden tener un gran impacto en la precisión del resultado del análisis ^[19].

[19] Bi, Z. (2019). Finite Element Analysis Applications.

2.1.4. Ingeniería asistida por computadora

La ingeniería asistida por computadora (CAE) es el proceso por el cual se usa un software para simular el rendimiento de un producto con el fin de mejorar el diseño o facilitar la resolución de problemas de ingeniería para diversas industrias. La aplicación de software puede incluir simulación, validación y optimización de productos, procesos y fabricación.

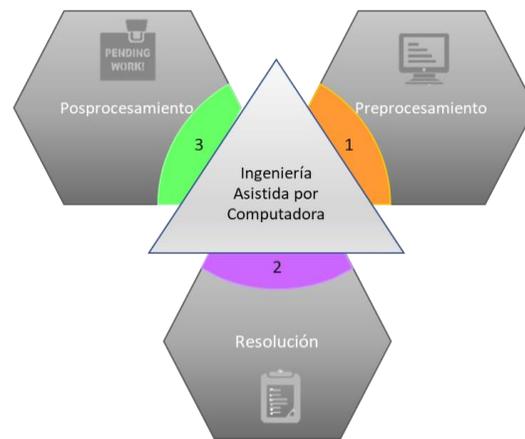


Figura 3. Representación de las fases de la Ingeniería Asistida por Computadora de autoría propia.

Normalmente, un proceso CAE consiste en pre-procesamiento, resolución y post-procesamiento. En la fase de pre-procesamiento, los ingenieros modelan la geometría y las propiedades físicas del diseño, así como los efectos ambientales en el diseño en forma de cargas o restricciones aplicadas. En la fase de resolución, el modelo se resuelve utilizando una formulación matemática adecuada de la física fundamental. En la fase de post-procesamiento, los resultados se presentan al diseñador para su revisión y análisis [20].

Es decir, este proceso se puede utilizar dentro desarrollo del producto y en su ciclo de vida, ya que se pueden considerar fases de mantenimiento y de eliminación del producto. Los ingenieros hacen uso de CAE para llevar a cabo la gran cantidad de cálculos necesarios para resolver problemas, ya que estos suelen ir mucho más allá de los métodos manuales.

[20] Suganuma, K. (2018). Wide Bandgap Power Semiconductor Packaging.

2.1.5. Manufactura asistida por computadora

La manufactura asistida por computadora (CAM) es un proceso de integración entre el modelo desarrollado mediante CAD y la evaluación de ingeniería ejecutada en CAE. Dicho proceso incluye funciones de fabricación, que van desde la planificación y programación de la producción hasta el monitoreo y control de procesos. Algunas aplicaciones CAM implican el procesamiento de datos convencionales y, a menudo, se tratan fuera del ámbito de CAD / CAM.

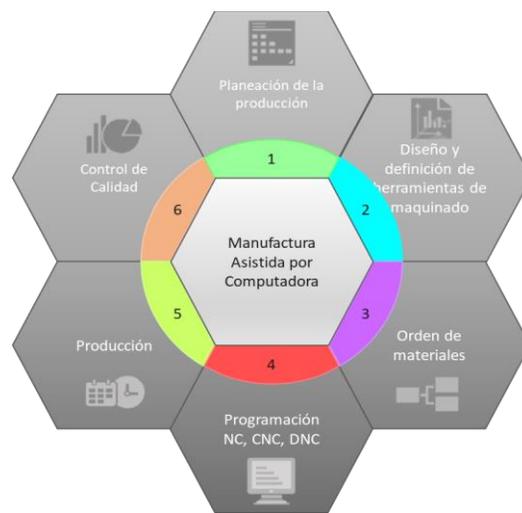


Figura 4. Representación de las fases de la Manufactura Asistida por Computadora de autoría propia.

Al igual que el proceso CAD, la manufactura CAM consta de seis fases. En la primera fase, se debe de planear el proceso de manufactura, definiendo un programa de operaciones de producción. En la segunda fase, se realiza la definición del herramental, así como la asignación de equipo de producción. En la tercera fase, se realiza una orden de materiales, la cual está muy ligada con la orden de producción. Comúnmente este elemento se conoce como lista de materiales o BOM (de su traducción en inglés bill of materials) la cual es una tabla que enumera los componentes de un ensamblaje a lo largo de la información necesaria en el proceso de fabricación. Si el ensamblaje o sus componentes cambian, la BOM se actualiza para reflejar los cambios [21].

[21] Dassault Systemes. (2015). Introducing solidworks.

En la cuarta fase se define la programación que utilizará en el sistema de manufactura. Esta programación puede ser para un control numérico o NC (de su traducción del inglés numerical control), un control numérico por computadora o CNC (de su traducción en inglés de computer numerical control), o para un control numérico directo o DNC (de su traducción en inglés de direct numerical control); dependiendo de la factibilidad y disponibilidad de la maquinaria, se elegirá a una sobre la otra.



Figura 5. Representación de los distintos tipos de equipos programables de autoría propia.

En la quinta fase se desarrolla la producción de los componentes del dispositivo, así como su ensamble, llevando a la sexta fase que es la validación del producto.

La ingeniería asistida por computadora (CAE) se usa a menudo para describir las funciones de diseño, análisis y pruebas, junto con aquellas aplicaciones CAM estrechamente asociadas con el diseño y la ingeniería, pero excluyendo las aplicaciones convencionales. Por lo tanto, abarca aquellas áreas que generalmente están contempladas por los sistemas CAD / CAM integrados [22].

CAM se ha convertido en una parte integral de los sistemas de diseño y producción que existen en la actualidad. Si bien hay un crecimiento en el desarrollo de sistemas virtuales en línea, todavía existe la necesidad de hacer prototipos físicos [23].

[22] Smith, E. (2013). Mechanical Engineer's Reference Book.

[23] Sinclair, R. (2015). Textiles and Fashion. Materials, Design and Technology.

2.1.6. Manufactura aplicada

La manufactura aplicada es el proceso por el cual se gestionan los procesos de manufactura a través distintas técnicas de administración de operaciones, aseguramiento de la calidad y logística para distribuir de una forma competitiva a las distintas áreas de una organización.

Utiliza como fundamento pensamientos de la manufactura esbelta para su desarrollo, los cuales pueden ir desde el desarrollo de matrices de mando para la definición de directrices que establezcan la planeación de actividades, hasta la optimización de actividades operativas y de seguimiento.

Algunos de los pilares de este proceso son el uso de Poka Yokes, 5's, Kanban, SMED y Kaizen.

Los Poka Yokes (de su traducción en japonés **ポカヨケ** que significa a prueba de errores) son unos dispositivos diseñados para reducir y evitar los errores al utilizar, ensamblar o manejar objetos; también están pensados para los usuarios finales con el objetivo de mejorar su experiencia al reducirles la incertidumbre sobre el manejo de dispositivos. Existen distintos tipos de Poka Yokes ya que se producen a medida de las necesidades planteadas dentro de un proceso. Su objetivo principal es garantizar la funcionalidad de una maquinaria o dispositivo para reducir los problemas o defectos durante su manejo.

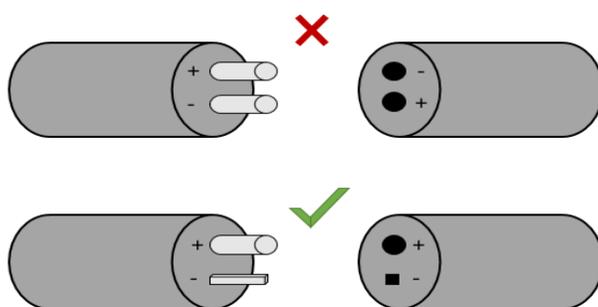


Figura 6. Ejemplo de Poka Yoke. Un trabajador puede conectar una pieza a otra de una sola manera [24].

[24] Lean Six Sigma. (2016). Poka-Yoke, visualizace. [1].

Las 5's son una herramienta que tiene un trasfondo socio - cultural, el cual está pensado para ayudarle a las personas a designar acciones que le ayuden a mejorar las áreas de trabajo; permiten mantener las condiciones correctas de operación de un área, así como el ambiente de trabajo adecuado para los usuarios. Para mantener la metodología 5's es necesario el esfuerzo colectivo de los colaboradores, por lo que su propósito busca trascender en el pensamiento de los trabajadores para ayudarles a mejorar las condiciones de trabajo cada que sea necesario. Las 5's es un conjunto de palabras en japonés que por sí mismas son una fase de la metodología y que se traducen de la siguiente manera:

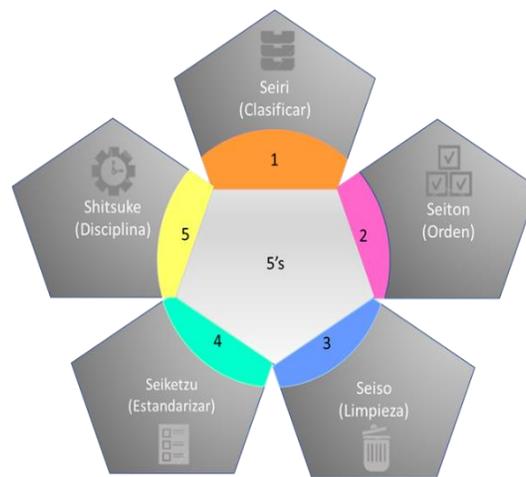


Figura 7. Representación de las 5's y su significado de autoría propia.

Seiri se refiere a la clasificación de los objetos que se encuentran en el área de trabajo, en necesarios e innecesarios. Seiton significa orden y una frase que expresa su propósito es la siguiente: "Un lugar para cada cosa y cada cosa en su lugar". Seiton representa la asignación de los objetos para disponer de ellos y desechar los objetos innecesarios. Seiso se traduce en limpieza y en esta etapa se establecen de forma preliminar los estándares básicos de inocuidad en el área de trabajo, para mantener visual y físicamente, las áreas de trabajo libres de desperdicios. Seiketsu significa estandarización y es en la fase en que se adopta de forma integral el ideal definir las condiciones adecuadas de trabajo. No solo se refiere a los estándares de limpieza también se refiere a procedimientos de trabajo adecuados. En una última etapa Shitsuke, se traduce en un pensamiento filosófico

que es la disciplina, en el cual, las 5's es un esfuerzo colectivo continuo por preservar las condiciones adecuadas y seguras de trabajo.

Kanban (de su traducción en japonés 看板 que significa letrero, pero que se ha adoptado más en su traducción latina que se refiere a una tarjeta visual) es un método de control de operaciones y recursos, en el cual se utiliza ayudas visuales para la trazabilidad de los procesos. Esta metodología busca producir siempre objetos con calidad, de una forma flexible, reduciendo costos y buscando la mejora continua.

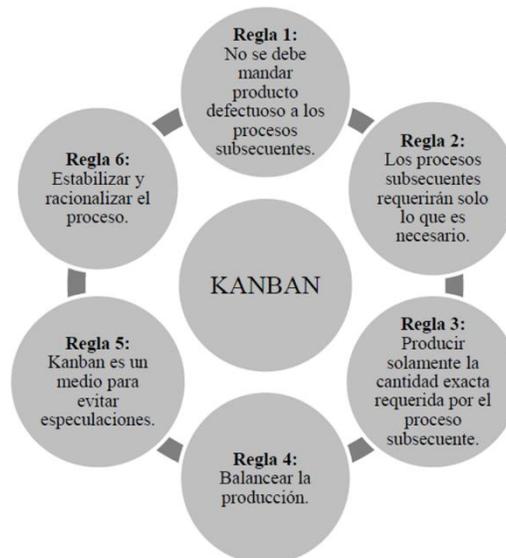


Figura 8. Reglas en las que se basa la metodología Kanban [25].

La metodología Kanban se rige por 6 reglas fundamentales. La primera menciona que cuando se manda productos de un área de trabajo a otra se debe de evaluar las características de los objetos para no mandar productos defectuosos. La segunda se refiere a que cada que se mande un producto a otra estación de trabajo, dicho producto debe de contar con solo los elementos e información necesarios. La tercera regla se refiere al control de recursos y menciona que solo se debe de producir las cantidades exactas y solicitadas. La cuarta regla se enfoca al control y menciona que se debe de balancear los procesos productivos, lo cual busca que se produzca la cantidad establecida en la orden de producción y cumplir con la filosofía

[25] Arango, M.; Campuzano, L.; Zapata, J. (2015). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. [1].

de justo a tiempo o JIT (de su traducción en inglés de Just In Time). La quinta reglas se refiere a que Kanban solo se debe de utilizar con información de producción necesaria para cada estación de trabajo, sin que se utilice como otro medio informativo. La sexta y última regla hace hincapié en que Kanban debe de ser usada en un proceso para estabilizary racionalizar su capacidad productiva.

SMED (de su acrónimo en inglés Single Minute Exchange of Die) significa cambio de herramental en menos de dos cifras en su traducción latina y se refiere a una metodología que busca reducir los tiempos de preparación de la maquinaria de una forma crítica para evitar las demoras en la producción por dicho ajuste.

En SMED se hace la distinción entre actividades internas y externas, las actividades internas son las actividades que se pueden realizar mientras la máquina esta parada, como ejemplo está el montaje o extracción de herramental; por otra parte, las actividades externas son las que se pueden realizar cuando la maquinaria está en funcionamiento, como ejemplo se tiene el transporte de herramental, y equipo a las áreas de uso o inclusive al almacén.

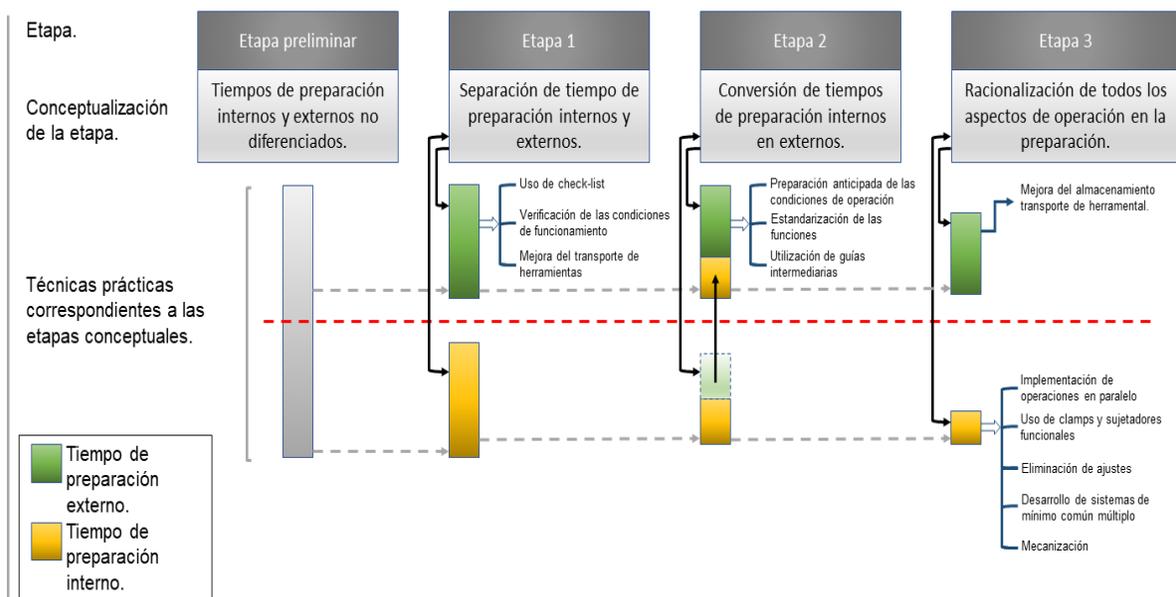


Figura 9. Representación de las etapas de implementación de SMED de autoría propia.

Las etapas de SMED son las siguientes:

1. Etapa preliminar: en esta etapa se evalúa el flujo del proceso para determinar la cantidad de actividades que se realizan ya que no hay distinción entre configuraciones internas y externas, solo se verifica el procedimiento de configuración actual.
2. Etapa uno: es la etapa más importante en la implementación de SMED. En esta etapa, las actividades se separarán en internas y externas.
3. Etapa dos: durante esta etapa, el analista debe de determinar si alguna de las actividades de la configuración interna se puede convertir en una configuración externa, es decir en actividades que no se necesita tener parada a la maquinaria.
4. Etapa tres: en la última etapa de implementación de SMED, se examinan todas las actividades de configuración internas y externas para observar posibles oportunidades de mejora, teniendo en cuenta la eliminación de ajustes y la linealización de los métodos de fijación ^[26].

Kaizen (de su traducción en japonés 改善 que significa cambio a mejor o mejora) es un método en el cual se pone el sentido común en práctica. Dicha forma de pensar y actuar no es una forma privativa entre gerentes e ingenieros, sino que también se piensa en el empleado y los supervisores y empleados ya estén jerarquizados o no lo estén. Además de aplicar el sentido común, en la práctica se habla de una necesidad de que la empresa entre en un constante aprendizaje en el cual se alcancen metas elevadas ^[27].

Para poder implantar la metodología dentro de una organización, es necesario que el personal este familiarizado con el proceso de mejora y contar con una problemática a resolver. Dicho proceso se conoce como un evento Kaizen, el cual es una mejora rápida a un proceso con el objetivo de mejorar las condiciones de trabajo, la calidad y reducir desperdicios.

[26] Parisotto, C. (2016). Método SMED: Análise e aperfeiçoamento.

[27] Almería, J.; Gisbert, V.; Pérez, A. (2018). Cuadernos de investigación aplicada.

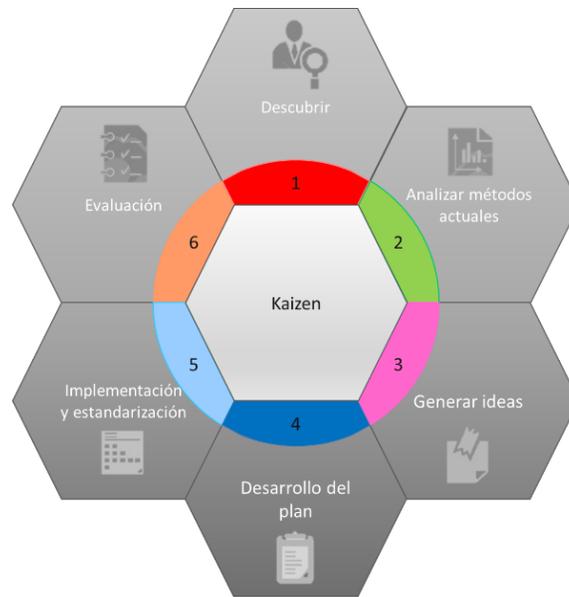


Figura 10. Representación de las etapas de implementación de Kaizen de autoría propia.

Los pasos para desarrollar la implantación de Kaizen, requieren primero descubrir las áreas de oportunidad para poder identificar el desperdicio a eliminar, además se construye la mentalidad del personal para que sea consciente del cambio. Posteriormente se analiza los métodos actuales, para eliminar los pasos innecesarios, se analizan las ideas de solución para sintetizarlas en una sola lo cual se considera como un análisis de realidad. Se desarrolla el plan para realizar los cambios. Se implementa la solución, por lo que se miden, verifican y estandarizan los cambios. Por último, se evalúan los resultados y se celebra el logro obtenido para posteriormente, reiniciar este ciclo de mejora analizando un área de oportunidad diferente.

2.1.7. Realidad aumentada

La realidad aumentada (AR) es la experiencia de entornos reales que se complementa con información digital en forma de imágenes, sonidos y textos [28].



Figura 11. Aplicaciones para la AR en la manufactura [29].

La AR es una vista de un entorno u objeto físico del mundo real, cuyos elementos son aumentados (complementados) por entradas generadas por computadora. Como resultado, la tecnología mejora la percepción de la realidad. Por lo general, los usuarios tienen equipos especiales, como una pantalla de visualización, gafas o una computadora especial. En educación, esto se puede utilizar para simplificar tareas complejas insertando información adicional en el campo de visión o, por ejemplo, creando objetos virtuales en museos y exposiciones para explicar ciertos objetos que están físicamente presentes en la exposición [30].

[28] Wright, J. (2015). International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences.

[29] Deploy VR. (2015). Aplicaciones para la AR en la manufactura. [10].

[30] Voogt, J.; Fisser, P. (2015). International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences.



Figura 12. Imágenes de autoría propia del uso de la realidad aumentada por medio de códigos QR.

La realidad virtual y la realidad aumentada (AR) están pasando rápidamente de las industrias de juegos y entretenimiento a la industria. Las áreas donde se ha desarrollado grandes avances son: medicina, comercio, capacitación y educación.

Una página de texto completo puede enseñar un concepto y una descripción del proceso, una imagen puede explicar el concepto y una imagen 2D con movimiento puede explicar 100 veces lo que muestra una imagen. Sin embargo, en un entorno dinámico e inmersivo de vistas 3D y de 360 grados, VR y AR pueden comunicar muchas veces más detalles de un proceso. Shell, Chevron y Exxon-Mobil ahora han introducido varios programas de capacitación que utilizan VR para reducir los costos de capacitación y evitar materiales de capacitación obsoletos (documentos, presentaciones en power point, etc. Usando VR y AR, el operador puede enseñar en la oficina sin moverse, viajar o esperar instructores. Otro beneficio de AR es trabajar más de cerca con los operadores en el campo: realizar recorridos virtuales, realizar aseguramiento de los materiales y operaciones en tiempo real ^[31].



Figura 13. Representación de las fases de desarrollo de realidad aumentada de autoría propia.

Los expertos mencionan que el proceso de desarrollo de realidad aumentada tiene cuatro fases fundamentales. En la primera fase se desarrollan los modelos 3D y la construcción de la información para el modelado del programa. En la segunda fase se realiza la construcción del programa, utilizando comúnmente referencias virtuales, así como periféricos de referencia como los acelerómetros de los dispositivos y los giroscopios. En la tercera fase se desarrolla el manejo para dispositivos móviles y en la cuarta se definen las superficies interactivas para poder presentar la aplicación a los usuarios [32].

[32] Williams, G.; Gheisari, M.; Chen, Po.; Irizarry, J. (2015). BIM2MAR: An Efficient BIM Translation to Mobile Augmented Reality Applications.

2.1.8. Metrología

La metrología es la ciencia de la medición, que abarca las determinaciones experimentales y teóricas en cualquier nivel de incertidumbre en cualquier campo de la ciencia y la tecnología. La metrología se puede dividir en tres subcampos: metrología científica, metrología aplicada y metrología legal. La metrología legal es el final de la línea, en relación con los requisitos reglamentarios de mediciones bien establecidas e instrumentos de medición para la protección de los consumidores y el comercio justo. En metrología aplicada, la ciencia de la medición se desarrolla hacia la fabricación y otros procesos, asegurando la idoneidad de los instrumentos de medición, su calibración y el control de calidad. La metrología científica es la base de todos los subcampos y se refiere al desarrollo de nuevos métodos de medición, la realización de estándares de medición y la transferencia de estos estándares a los usuarios [33].

Se considera que, dentro del sector automotriz, las habilidades sobre metrología más importantes son: el manejo de instrumentos de medición, análisis del sistema de medición o MSA (del inglés measurement system análisis), diseño de dispositivos de medición, análisis de geometría dimensional, calibración de equipos y conceptos básicos de metrología.

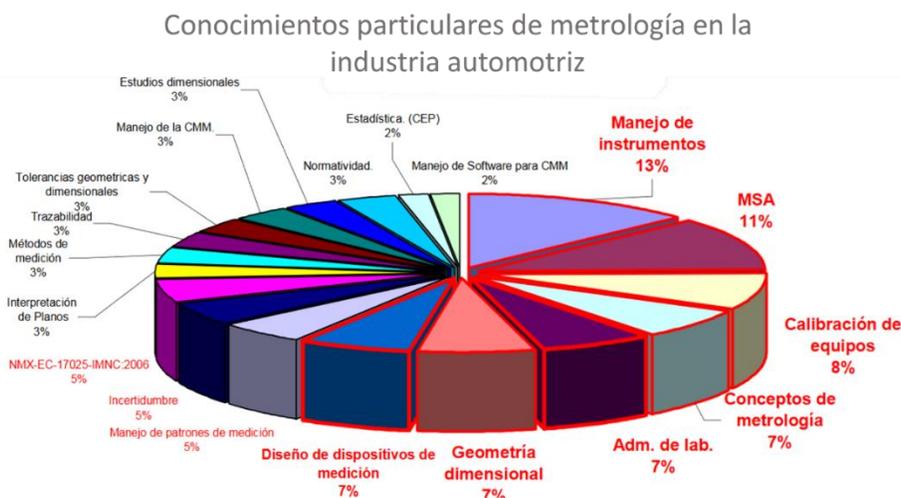


Gráfico 3. Conocimientos particulares de metrología en la industria automotriz [34].

[33] Jorio, A.; Dresselhaus, M. (2016). Reference Module in Materials Science and Materials Engineering.

[34] Tapia, H. (2010). Conceptualización, diseño y desarrollo de estación didáctica para metrología industrial.

Tanto el manejo de instrumentos, la calibración de equipos, el análisis de geometría dimensional y los conceptos básicos de metrología, forman parte de la metrología dimensional; por otro lado, el análisis del sistema de medición es una rama fundamental de la metrología y el diseño de dispositivos de medición conocidos como checking fixture o los fixtures & gage forman parte de la manufactura aplicada.

2.1.8.1. Metrología dimensional

La metrología dimensional es una rama de la ciencia que se encarga del análisis de las magnitudes geométricas. Así mismo, permite la determinación de magnitudes lineales o angulares y la comparación de medidas respecto a un valor numérico dado [35].

Algunas de las mediciones que se pueden realizar por medio de la metrología dimensional son: la medición de planos, longitudes, ángulos, roscas, pasos, perfiles, entre otras.



Figura 14. Imagen de autoría propia de la medición del diámetro de u cable con un calibre.

Esta especialidad es de gran importancia en la industria en general pero especialmente en la de manufactura pues las dimensiones y la geometría de los componentes de un producto son características esenciales del mismo, ya que, entre otras razones, la producción de los diversos componentes debe ser dimensionalmente homogénea, de tal manera que estos sean intercambiables aun cuando sean fabricados en distintas máquinas, en distintas plantas, en distintas empresas o, incluso, en distintos países [36].

Los principales propósitos de la metrología dimensional son:

[35] Barrios, F. (2019). Taller de Metrología Dimensional. Capacitación para el trabajo y la inserción laboral.

[36] Centro Nacional de Metrología. (2020). Metrología Dimensional.

1. Apoyar en la mantención del patrón nacional de longitud y ángulo.
2. Brindar actividades y servicios de calibración a los patrones o instrumentos de medición.
3. Promover la asesoría y capacitación a los usuarios de la industria para la solución de problemas referentes a la medición y calibración de dimensiones.
4. Promover la comparación de información entre laboratorios homólogos del extranjero para mejorar la trazabilidad metrológica.
5. Apoyar al Sistema Nacional de Calibración (SNC) en actividades de evaluación técnicas de laboratorios.
6. Promover la elaboración de investigaciones y publicaciones científicas.

2.1.8.2. Análisis del sistema de medición

El propósito del análisis del sistema de medición o MSA (de su acrónimo en inglés de measurement system analysis) es evaluar la calidad del sistema de medición, ya que, los equipos de medición se pueden descalibrar, se puede perder el control de la cantidad de equipos con los que se cuenta o inclusive el uso que se le da en ciertas áreas, además de que puede perder su confiabilidad cuando se usan de forma incorrecta o bien cuando uno o más usuarios los manejan. Es por ello que se busca es salvaguardar el sistema de medición, para que se mantengan los procedimientos, manejos y condiciones de los equipos de medición.

Los elementos que se evalúan son los que están representados por el acrónimo PPIPM el cual resalta los seis elementos esenciales de un sistema de medición que son: patrón, pieza de trabajo, instrumento, persona/procedimiento y medio ambiente.

Dentro de las pruebas del MSA se busca conocer la exactitud, sesgo, estabilidad y linealidad de los equipos y de las mediciones que se realizan; también se reconoce la sensibilidad, consistencia y uniformidad de los resultados que se arrojan.

Algunas herramientas importantes para el análisis del sistema de medición son: AMEFD, R&R, ANOVA, cartas de control y el estudio de BIAS.

El AMEFD es el acrónimo de análisis del modo y efecto de falla del diseño, su propósito es definir los riesgos asociados con fallas potenciales del proceso de desarrollo y proponer acciones correctivas antes de que estas fallas puedan ocurrir en el uso. El resultado de un AMEFD es transferido a un plan de control.

Cl = clase

LOGO		ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA										Inicio:		Revisiones:			
		<input type="checkbox"/> AMEF de Proceso <input type="checkbox"/> AMEF de Diseño <input type="checkbox"/> AMEF de Servicio										Terminación:					
Producto:				Proceso:				Equipo:		Responsable:							
Clave de producto:				Operación:				Integrantes:		Departamento:							
Nivel de Ingeniería:				Departamento:													
*PIEZA / OPERACIÓN	*FUNCIÓN / OBJETIVO	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	S	CI	CAUSAS DE LA FALLA	O	CONTROLES ACTUALES	D	NPR	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLES	ACCIONES IMPLANTADAS	VALORACIÓN			NPR
														S	O	D	

En campo

En Equipo multidisciplinario

Análisis después de la 2ª prueba

Figura 15. Imagen propia del formato AMEF y su método de desarrollo.

Dentro del proceso de investigación del AMEFD, se adquiere conocimiento al evaluar el proceso y los parámetros o resultados del proceso mismo. Esta actividad, a menudo llamada como inspección, es la acción de examinar los parámetros de un proceso, las partes en proceso, los subsistemas ensamblados o los productos completos con la ayuda de patrones adecuados y dispositivos de medición que permitan al observador confirmar o negar la premisa de que el proceso está

operando en forma estable y con una variación aceptable con respecto a la meta designada por el cliente [37].

El estudio R&R es una contracción de repetibilidad y reproducibilidad; es un análisis de estimación de la reproducibilidad que tiene un método o procedimiento de medición y de la repetibilidad que tiene un análisis para ser desarrollado con distintos equipos de medición u operadores. En este estudio se mide la varianza que tiene la reproducibilidad y la repetibilidad para estimar la variación y el porcentaje de la variación del proceso del sistema de medición.

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{reproducibility}^2 + \sigma_{repeatability}^2$$

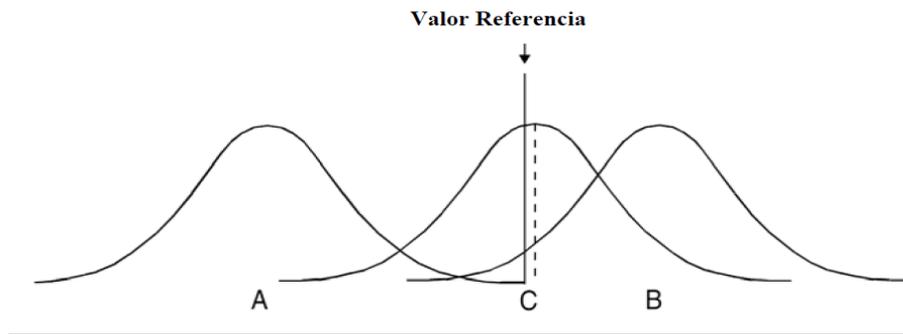


Gráfico 4. Análisis R&R en base a las curvas de repetibilidad y reproducibilidad [38].

Existe un criterio de aceptabilidad en base a la tolerancia total de la especificación del cliente:

Porcentaje de variación del proceso	Significado
Menos de 10%	El sistema de medición es aceptable.
Entre 10% y 30%	El sistema de medición es aceptable dependiendo de la aplicación, el costo del dispositivo de medición, el costo de la reparación u otros factores.
Más de 30%	El sistema de medición no es aceptable y debe ser mejorado.

Tabla 1. Porcentaje de variación del estudio R&R y su significado.

[37] y [38] Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. (2010). Measurement systems analysis.

Dependiendo del nivel de variación del R&R, se deberá definir mecanismos de mejora para mantener la confiabilidad del sistema de medición.

ANOVA o análisis de la varianza (es una contracción en inglés de analysis of variance) es una metodología que se utiliza para analizar los errores de las mediciones al reconocer la variabilidad entre los datos de un estudio de medición. El índice que se utiliza en este estudio es el de Fisher, por lo que es importante definir el valor F_{real} para compararlo con el valor $F_{teórico}$.

$$F_{real} < F_{teórico}, F_{real} > F_{teórico}$$

Si el valor F_{real} es menor al valor $F_{teórico}$, significa que el proceso tiene poca variación o se encuentra bajo control.

Por otra parte, si el valor F_{real} es mayor al valor $F_{teórico}$, significa que existe una variación inaceptable y existe un factor que está afectando al proceso.

En ANOVA, lo importante es evaluar las partes, los evaluadores, la interacción entre partes y evaluadores y el error de replicación, dichos datos se pueden graficar o bien, evaluar en la tabla de resumen de ANOVA.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F
Operador	K-1	SS_o	$MS_o = \frac{SS_o}{(k-1)}$	$F_o = \frac{MS_o}{MS_{o+p}}$
Parte	N-1	SS_p	$MS_p = \frac{SS_p}{(n-1)}$	$F_p = \frac{MS_p}{MS_{o+p}}$
Interacción operador / parte	$(k-1)(n-1)$	SS_{o+p}	$MS_{o+p} = \frac{SS_{o+p}}{(k-1)(n-1)}$	$F_e = \frac{MS_{o+p}}{MS_e}$
Equipo	$nk(r-1)$	SS_e	$MS_e = \frac{SS_e}{nk(r-1)}$	
Total	$nkr-1$	SS_T		

Tabla 2. Tabla de resumen ANOVA.

Las cartas de control son representaciones gráficas de un conjunto de datos que comúnmente son de un proceso, aunque pueden ser de otros datos de interés, los cuales son procesados por medio de la estadística, para identificar la variación inherente a un proceso a lo largo del tiempo y poder categorizarla en variación por causas comunes y por causas especiales.

La variación por causa común se debe generalmente por los elementos inherentes al proceso por lo que es esperada y predecible, por ejemplo, pequeña fluctuación de temperatura en un proceso o la asignación de diferentes operadores; algunos de los más grandes autores la han denominado ruido de fondo. Por otro lado, la variación por causa especial es diferente ya que se debe a sucesos inesperados e impredecibles. La causa especial se debe de identificar y corregir para eliminar esta variación incontrolada de un proceso. Una carta de control es una herramienta útil para caracterizar la variación de un proceso que ya está bajo control y para identificar cuándo un proceso está fuera de control.

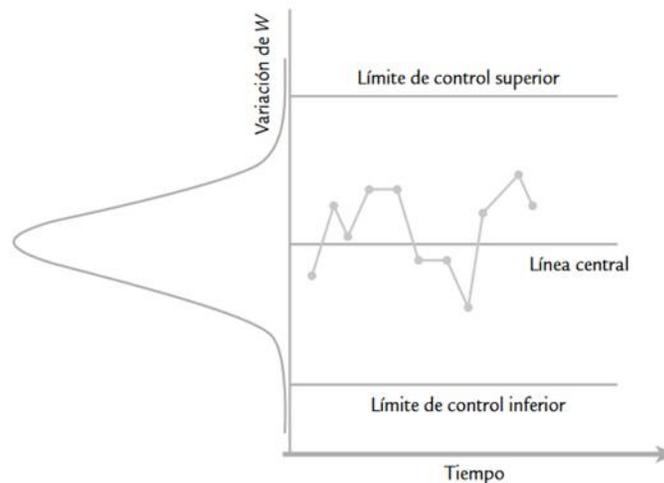


Gráfico 5. Idea y elementos de una carta de control [39].

Existen dos tipos principales de datos involucrados en las cartas de control y el control estadístico de procesos o SPC (del acrónimo en inglés de statistical process control): datos variables y datos de atributos. Los datos basados en mediciones se

[39] Gutiérrez, H.; De la Vara, R. (2013). Control estadístico de calidad y seis sigma.

denominan datos variables o continuos, mientras que los datos basados en recuentos se denominan por atributos o discretos.

Los gráficos de control utilizan datos de variables y atributos, y para cada tipo de datos, hay diferentes tipos de gráficos de control. En la industria manufacturera, los datos más utilizados para monitorear un proceso son datos variables y se trazan en un gráfico *X*.

El estudio de BIAS o de linealidad y sesgo, es utilizado para determinar la exactitud de las mediciones de un sistema de medición; la linealidad se entiende como la exactitud entre mediciones y su rango, por otra parte, el sesgo es la cercanía entre las mediciones respecto al valor de referencia ^[40].

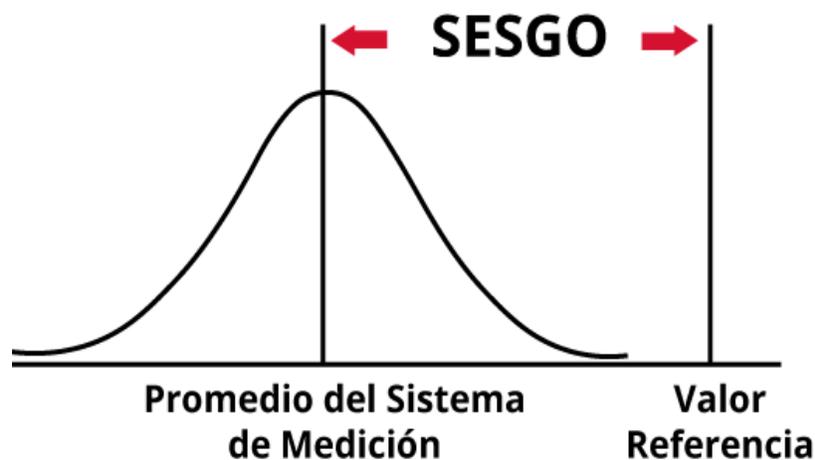


Gráfico 6.. Análisis gráfico de linealidad y Sesgo.

El sesgo o error de linealidad de un sistema de medición es inaceptable si es significativamente diferente de cero o excede el máximo error permisible establecido por el procedimiento de calibración de gages. En tales casos, el sistema de medición debiera recalibrar o aplicar una corrección de compensación para minimizar este error ^[41].

[40] Minitab. (2019). ¿Qué es un estudio de linealidad y sesgo del sistema de medición?

[41] Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. (2010). Measurement systems analysis.

2.1.9. Gestión de la calidad

La gestión de calidad es la inspección de calidad sistemática y la mejora de la calidad de los componentes técnicos de un producto o servicio. La gestión de calidad afecta a todas las etapas del ciclo de vida del producto. Su objetivo es lograr una alta calidad continua con respecto a la seguridad de este y garantizar los requisitos y objetivos estratégicos de sus funciones. Es una condición previa importante de una gestión de calidad eficiente que los objetivos del control estén claramente definidos.

La gestión de la calidad en la etapa de planificación debe incluir una definición cuidadosa e integral de la función, en la etapa de implementación incluye la implementación primaria, así como las implementaciones de seguimiento de todos los datos y en la etapa de operación requiere una medición frecuente de los impactos reales ^[42].

[42] Tang, K.; Boltze, M.; Tian, Z. (2019). Global Practices on Road Traffic Signal Control.

2.2. Antecedentes

El sector automotriz, tiene un impacto a nivel nacional que abarca estados como Nuevo León, Baja California Norte, Sonora, Chihuahua, San Luis Potosí, Jalisco, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Estado de México, Puebla y Morelos. Trece de treinta y dos estados de México tienen como estrategia estatal el sector automotriz ^[43]. Dentro del programa de desarrollo económico del bajío, el eje de economía tiene en sus principales acciones el robustecimiento el sector automotriz, al desarrollar un centro de pruebas para consolidar los sectores estratégicos de la región ^[44].

Dicho desarrollo brindará la mejora de la calidad de los productos así como la formación de centros especializados de ingeniería, por lo que los dispositivos de medición en la industria automotriz si bien están ligados a la metrología y laboratorios especializados, el proceso al que están enfocados es al de aseguramiento de parámetros, los cuales se refieren a un requisito establecido de forma convencional entre el proveedor de un producto y el cliente ya que de esta manera se acredita sobre su funcionalidad, calibración y pruebas que demuestren su competencia en las evaluaciones que realizan ^[45].

Los sistemas de medición pueden ser comerciales, aquellos que se encuentran en el mercado, desarrollados por proveedores especializados o fabricados a la medida de la empresa; pero comúnmente por la complejidad de las piezas es imposible encontrar equipos comerciales, y debido a la seguridad referente a propiedad intelectual y de los procesos, las empresas prefieren fabricar sistemas de medición para la medición en las líneas de producción ^[46]. Además, el Centro de Ingeniería (TREC) de General Motors, Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), Metrology School y Centro Nacional de Metrología (CENAM), fomentan el desarrollo de dispositivos Fixture & Gage, enfocándose a la innovación tecnológica, así como el desarrollo de dispositivos mediante tecnologías con y sin contacto, mediante el concurso Checking Fixture que se realiza de forma nacional en distintas sedes.

[43] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2016). Agendas Estatales y Regionales de Innovación.

[44] Gobierno del Estado de Guanajuato. (2018). Programa de Gobierno 2018-2024.

[45] Molina, J. (2007) Acreditación de un laboratorio de metrología dimensional: normas y requisitos.

[46] Tapia, H.; Águila, J. (2016). Concurso entre universidades método para integrar alumnos a la industria automotriz.

Capítulo 3

Metodología

3.1. Materiales

Para el desarrollo del proyecto, los materiales fueron los siguientes:

1. Materiales y útiles de oficina necesarios para la documentación y conceptualización del Fixture & Gage del proyecto.
2. Libros, revistas, artículos, guías y manuales.
3. Softwares para el desarrollo del proyecto:

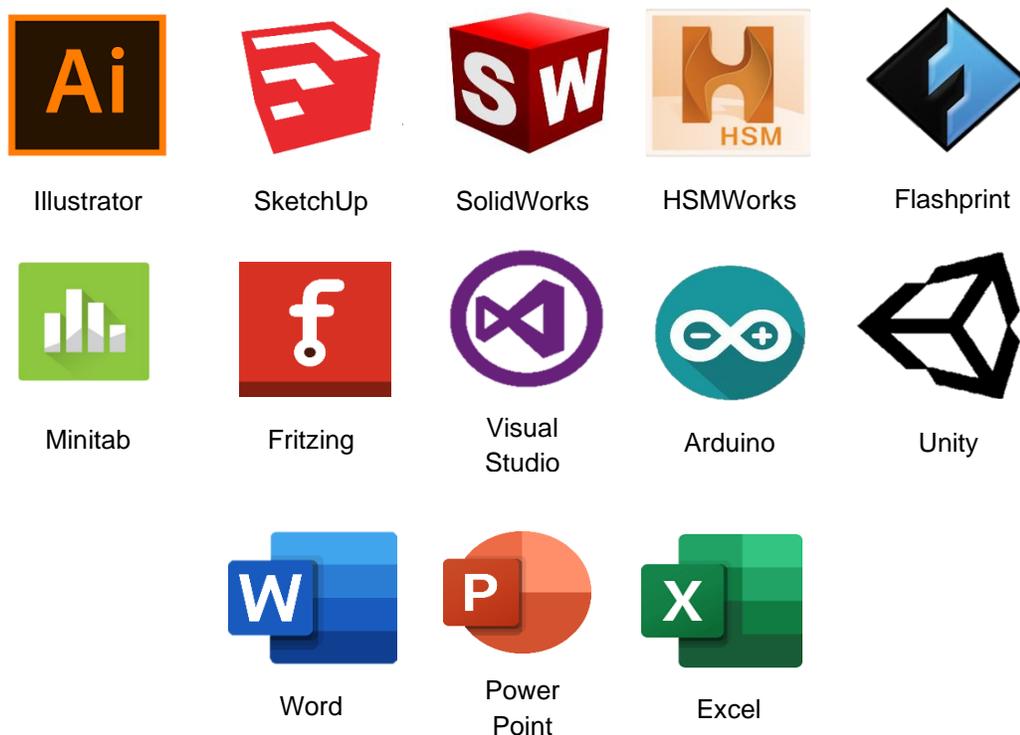


Figura 16. Softwares utilizados para el desarrollo del proyecto.

4. PLA para el desarrollo de componentes del prototipo por medio de impresión 3D.
5. Material eléctrico y electrónico necesario para el diseño conceptual del sistema, así como para la implementación de la propuesta.
6. Herramientas de mano para el proceso ajuste, ensamble del prototipo y mejora.
7. Herramental necesario para el proceso CAM con CNC.

3.2. Metodología

La metodología por seguir tiene como fundamento principal la metodología de prototipado rápido o MPR, ya que permite definir objetivos y a su vez identificar requerimientos detallados para las funciones y características para adaptar la interacción que existe entre el usuario y la máquina ^[47].

Las razones por las cuales se considera factible el uso de la metodología son: la adaptabilidad de la metodología al contexto de trabajo, en el que los requisitos no están perfectamente claros al principio, así como la evolución cíclica del prototipo en la que se involucra al usuario final en la mejora de la captura de requisitos, permite obtener mejores versiones del prototipo que finalmente desembocarán en la aplicación final. Además, se adapta a equipos de desarrollo reducidos y que cuentan con recursos limitados, como es el caso habitual en entornos académicos. Y por último hace uso de tecnologías avanzadas en cuanto a desarrollo de software se refiere, por lo que permite involucrar en el desarrollo (y también en posteriores mejoras) a estudiantes que se encuentran en la fase final de sus estudios o bien realizando el proyecto fin de carrera, ya que la adquisición de experiencia en tecnologías modernas y ampliamente usadas en la industria favorece su motivación ^[48].

Las etapas de la metodología son las siguientes:

1. Definición de especificaciones
2. Diseño conceptual
3. Desarrollo del prototipo
4. Pruebas del usuario
5. Auditoria y seguimiento

[47] Pressman, R. (2010). Ingeniería del software. Un enfoque Práctico.

[48] Dapena, A.; García, J.; Castro, P.; Pan, C. (2002). Aplicación web para evaluación y seguimiento del rendimiento de asignaturas y titulaciones universitarias.

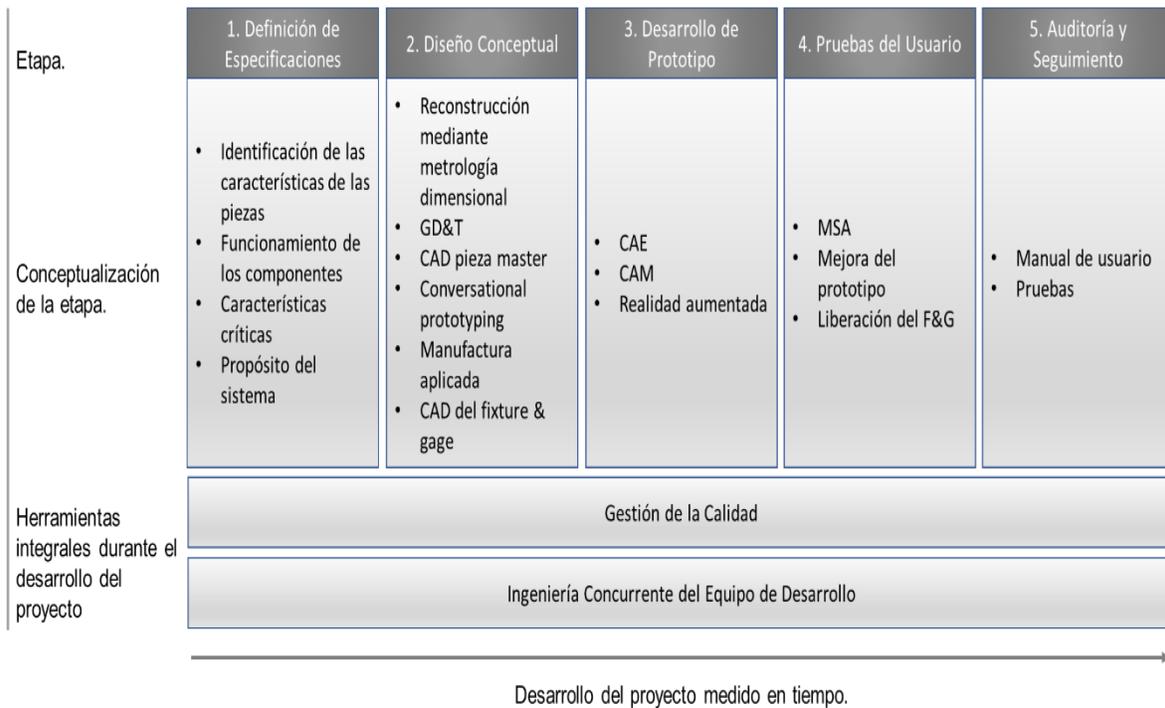


Figura 17. Metodología MPR aplicada a procesos de ingeniería concurrente de autoría propia.

Durante la definición de especificaciones, se reconocen las características de la pieza, así como las funciones del componente, características críticas para su uso y se realiza una evaluación del propósito principal del sistema.

Dentro del diseño conceptual se utiliza metodologías para reconstruir el componente las cuales tienen como principio la metrología dimensional, perfilometría e ingeniería inversa. Dentro de este proceso se desarrolla los modelos CAD tanto de la pieza máster como de los componentes del Fixture & Gage considerando los planos de tolerancias geométricas y dimensionales (GD&T), dentro de los cuales se definen los DATUMS y se valida mediante el método conversational Prototyping para definir la planeación del proceso de manufactura.

Posteriormente para el desarrollo del prototipo, se generan los procesos CAE y CAM, en los que se consideran las propiedades de los materiales para el desarrollo

del F&G, además de que se desarrolla en paralelo los elementos de realidad aumentada para capacitación de los operadores.

Una vez desarrollado el prototipo, se procede a las pruebas de este, las cuales consideran la validación del sistema, el análisis funcional de Fixture y el desarrollo de pruebas estadísticas como estudios de repetibilidad, reproducibilidad, sesgo y linealidad, entre otras pruebas que pudiera requerir el cliente de la industria automotriz.

En caso de ser requerido, en este punto se realiza mejoras al prototipo para generar un a segunda evaluación y liberación de F&G.

Por último, dentro del proceso de auditoria y seguimiento se realiza el manual de usuario y se realizan pruebas con piezas de la línea de producción, considerando los procesos administrativos sobre el herramental, como lo son: calibración del equipo, mantenimiento, certificación y actualización.

Todo este proceso esta sostenido por los principios de gestión de la calidad de proyectos y la ingeniería concurrente.

3.3. Descripción del caso

En este apartado, se planteará el método MPR aplicado a procesos de ingeniería concurrente para el desarrollo de un F&G de un componente del sector automotriz, por lo que se analizará un caso real de evaluación de la producción de un componente de aluminio. La pieza de aluminio a analizar es un refuerzo que es parte de la estructura de la 5ta puerta de una camioneta SUV de la marca Chevrolet, modelo Equinox 2018 de 5 puertas en sus versiones LS, LT, PREMIER y PREMIER PLUS.

Se considera que este componente resulta de interés para el fabricante, ya que no cuentan dentro de dicho proceso productivo con un sistema que les permita a los operadores evaluar la pieza de manera especializada, por lo que necesitan realizar las pruebas dentro de su laboratorio de metrología, lo cual requiere un tiempo severo para la validación y liberación de la producción.

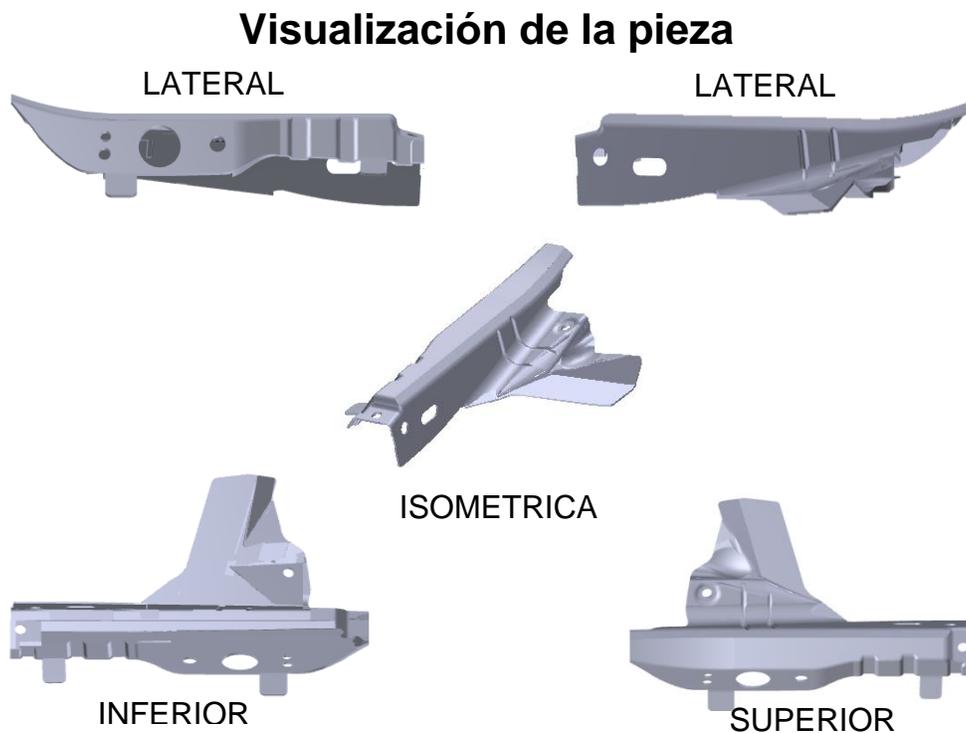


Figura 18. Visualización de pieza de aluminio.

3.4. Aplicación de la metodología al caso de estudio

A continuación, se expondrá el método MPR aplicado a procesos de ingeniería concurrente, por lo que se dividirá cada etapa en subcapítulos de esta sección, además de que se integrará elementos fundamentales de cada una de las metodologías planteadas dentro del marco teórico.

3.4.1. Definición de especificaciones

Para poder desarrollar el sistema de medición para la comparación electrónica del componente por contacto, se generaron los siguientes pasos:

1. Identificación de las características de la pieza

Se identificaron varias características del refuerzo, desde el material utilizado para su fabricación, hasta las características físicas y de funcionalidad de la pieza. Las características encontradas son las siguientes:

- a. **Tipo de material.** La pieza metálica está elaborada en su totalidad por aleaciones de aluminio (Figura 19). Entre las características que posee este tipo de Aluminio están que tiene una baja densidad (2.7 g/cm^3 en comparación con $7,9 \text{ g/cm}^3$ para el acero), es esta condición de ligereza que presentan las aleaciones de aluminio, lo que llevado a la industria automotriz a emplearlas en la fabricación de motores y aditamentos para los vehículos [49], además de contar con una alta resistencia a la tensión, también es resistente a la corrosión debido a la película de óxido que forma en su superficie.[50]

[49] F J, Gruzleski J E, Samuel F H, Valtierra S, & Doty H W. "Effect of Mg and Sr-modification on the mechanical properties of 319-type aluminum cast alloys subjected to artificial aging". *Materials Science and Engineering A*. 480: 356–364. (2008).

[50] Shaha S.K., Czerwinski F., Kasprzak W., Friedman J. & Chen D.L. "Microstructure and mechanical properties of Al–Si cast alloy with additions of Zr–V–Ti". *Materials & Design*, 83, 801-812. (2015).



Figura 19. Clasificación de las aleaciones de aluminio y su nomenclatura.

- b. Dureza.** Aleación de aluminio (AL). En la pieza se puede encontrar la característica de dureza ya que por el tipo de material que esta echa que es un material resistente, generalmente este tipo de material no sufre una deformación, excepto si es por caídas o golpes.
- c. Resistencia.** Si bien el AL es un metal ligero de alta densidad, y aunque son relativamente bajas comparadas con el acero, su relación resistencia-peso siendo aleado con otros elementos es excelente, en la pieza master se identificaron regiones en las que esta característica es más notoria ya que cuenta con dos pestañas chicas similares y una pestaña alargada con circunferencia las cuales son posteriormente soldadas a la carrocería para

cumplir con su funcionamiento de endurecer el área del marco de la ventilla de la puerta.

d. Planicidad y circunferencia. Al ser un refuerzo esta pieza no es en su totalidad recta ni curva, sin embargo, es importante que esta se ajuste a la forma circunferencia que tiene en esa zona la carrocería de la quinta puerta del vehículo, además de que dichas curvas no son regulares pero que cumplen en base a la propagación del ángulo de la puerta, la característica de planicidad para el área superior de la pieza la cual a su vez se conforma de un barrido y curvatura para su instalado.

e. Compresión

La pieza puede llegar a tener compresión, ya que su función es realizar un refuerzo por lo cual recibe una presión al soportar la puerta.

f. Pandeo

El pandeo es una de las características de la pieza, ya que por las dimensiones que esta contiene puede llegar a tener pandeo en la parte de en medio, ya que se le están aplicando fuerzas en los extremos de la pieza.

g. Torsión

Se evaluó la torsión en la pieza.

h. Fatiga

Se evaluó la fatiga de la pieza, ya que esta pieza funciona como un refuerzo a la puerta trasera a la cual se somete a una fuerza que pueda causar que llegue a romperse.

2. Funcionamiento del componente

La pieza es posicionada como parte de la estructura de la 5ta puerta y es soldada en la parte inferior derecha e izquierda de la ventanilla, es decir, aproximadamente a la altura de las calaveras traseras del automóvil, esta pieza se somete a una fuerza que pueda causar que llegue a romperse. La pieza no es visible en el exterior ni el interior (Figura 20) ya que queda cubierta en ambos lados, estando en el interior a la temperatura del entorno y en contacto con los componentes internos (Figura 21) que puedan tener contacto en la carrocería.



Figura 20. Localización de la pieza en el auto.

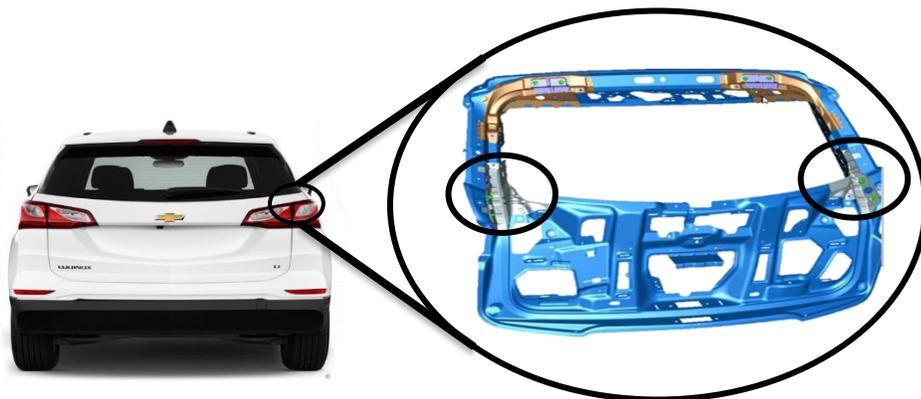


Figura 21. Localización de la pieza en la 5ta puerta

3. Características críticas

Las características críticas de la pieza son: Pestañas: tamaño, curvatura, altura y distancia (A1, A2, A3), Diámetro y tolerancias del corte orificio de la pestaña B en A3 (E6), Diámetro y tolerancias del corte delantero superior de C (E1), Cuerpo del refuerzo; planicidad del cuerpo, curvas y barridos laterales (D1, D2, D3), Diámetro y tolerancias de los cortes laterales (E2, E3, E4, E5), Curvatura de la parte inferior (F), cada una de las mencionadas previamente podemos observarlas en la Figura 22.

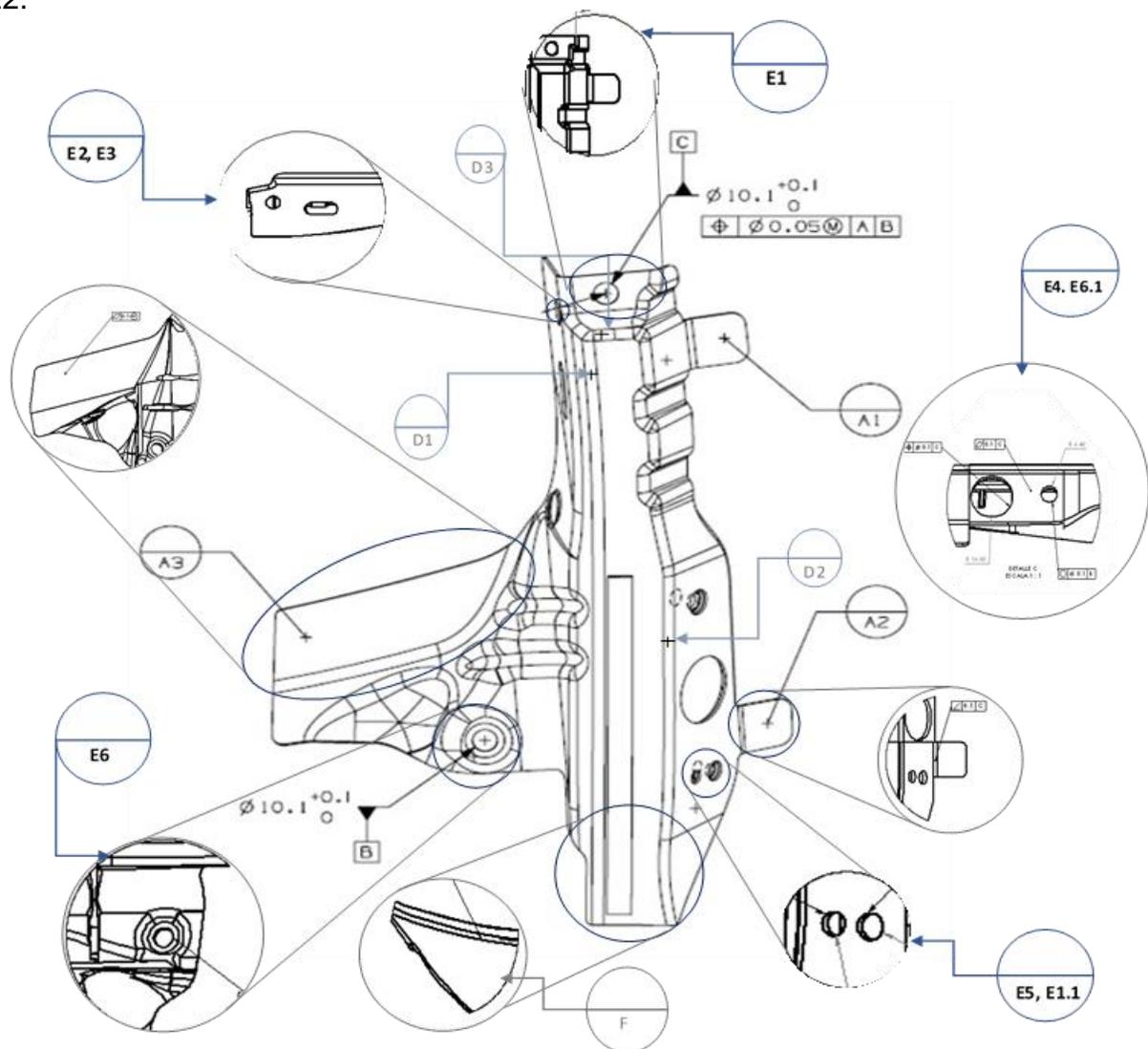


Figura 22. Elementos críticos de la pieza.

4. Propósito del sistema

El sistema deberá asegurar que el refuerzo puede ser ajustado a la zona de soporte de la puerta para que además de que pueda mantenerse sujeto soporte la fuerza ejercida que puede ser aplicada en el movimiento de la puerta y que además pueda adaptarse a los componentes internos que tengan contacto en el interior. Es por lo que el F&G deberá de evaluar los siguientes elementos:

- a. **Diámetro de las cavidades.** Esta es la primera característica que debe ser evaluada, ya que si no contiene las medidas correctas no será posible ensamblar el refuerzo en la puerta del vehículo. Debido a que es una condición en la cual solo se desea conocer el cumplimiento y no el rango, la mejor manera de evaluarlo es utilizando un sistema Go-NoGo, el cual es una herramienta permite saber cuándo un objeto está dentro o fuera de un cierto rango dimensional. Al ser diseñados, estos componentes deben de ser construidos de tal forma que sean un Poka Yoke para los operadores y reducir en el mayor nivel posible el índice de certidumbre.

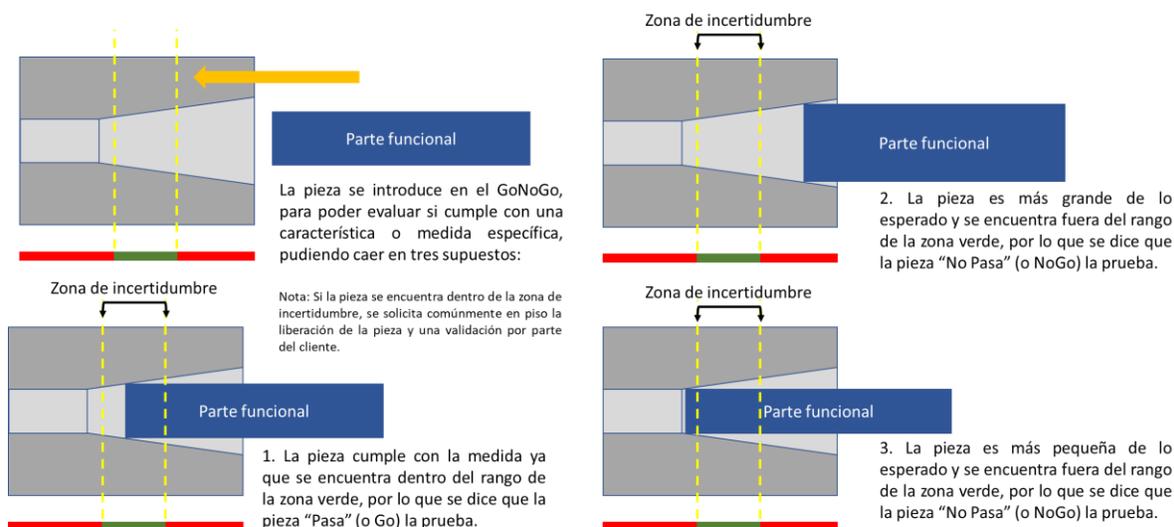


Figura 23. Representación de autoría propia de un Go-NoGo.

b. Planicidad de la pestaña A3. Otra característica de apariencia importante es la adaptabilidad de las curvas de la pestaña a las de la carrocería cuando se realiza el ensamble ya que se debe de evaluar la planicidad de la superficie de la pestaña con la posición en que es posicionada la pieza en la carrocería de la puerta.

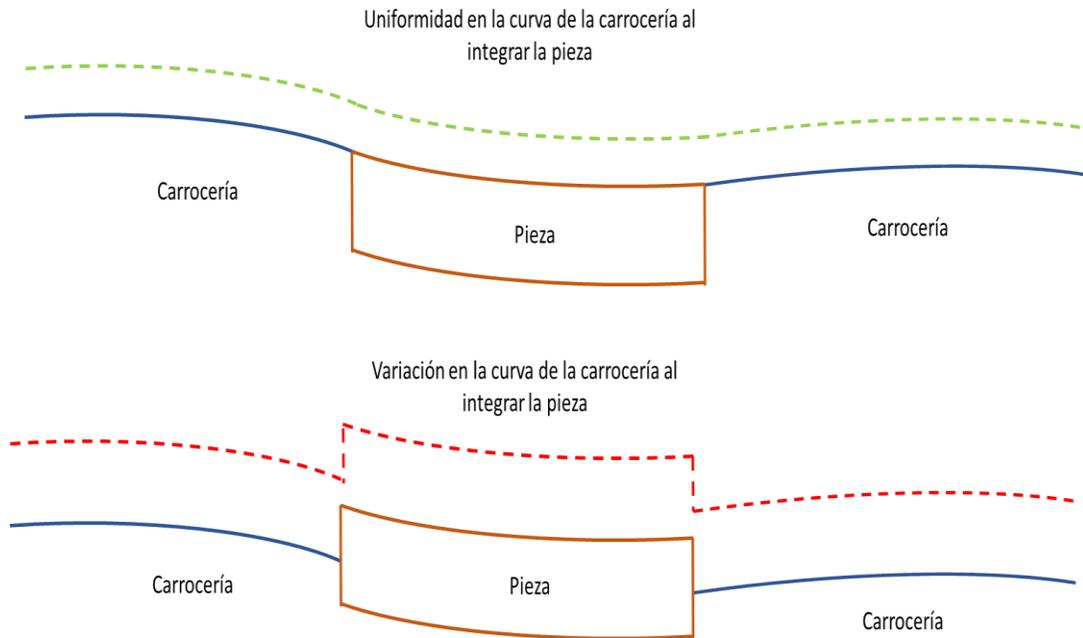


Figura 24. Ilustración de autoría propia de la evaluación de las curvas de la pieza.

Debido a que la medida debe de encontrarse dentro de un rango para que no sea visualmente irregular las alturas de la tapa al cierre, se debe de utilizar un medidor de caratula para realizar las pruebas. Los medidores de caratula son equipos de medición que permiten saber las alturas que presenta un objeto en milésimas de milímetro. Un medidor de carátula comúnmente debe de calibrarse al inicio del uso para tener un valor de referencia con el cual compararlo.

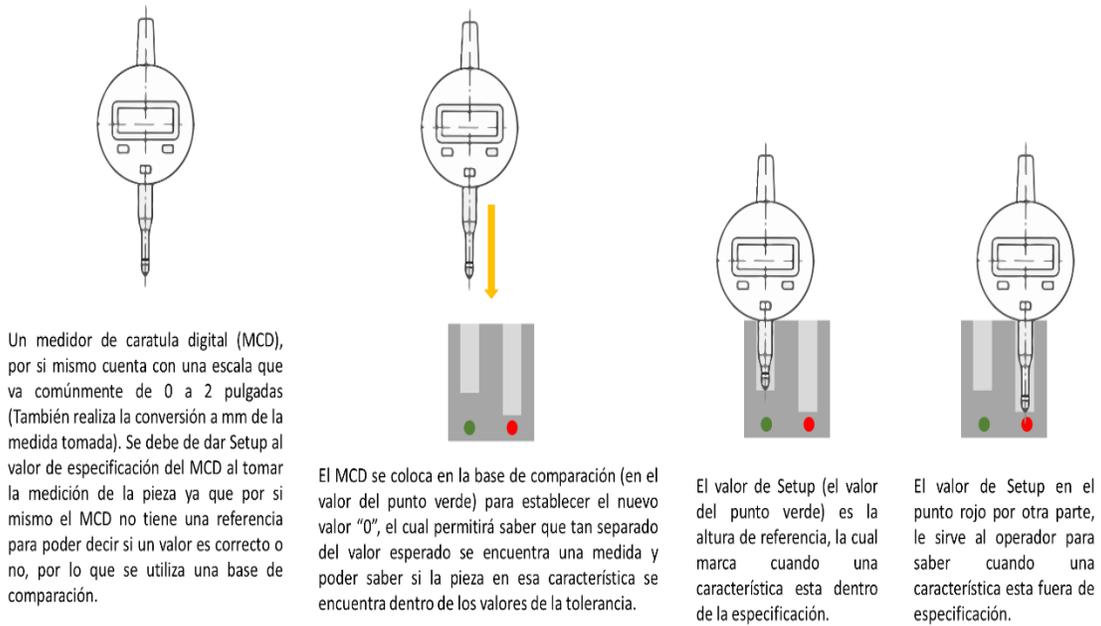
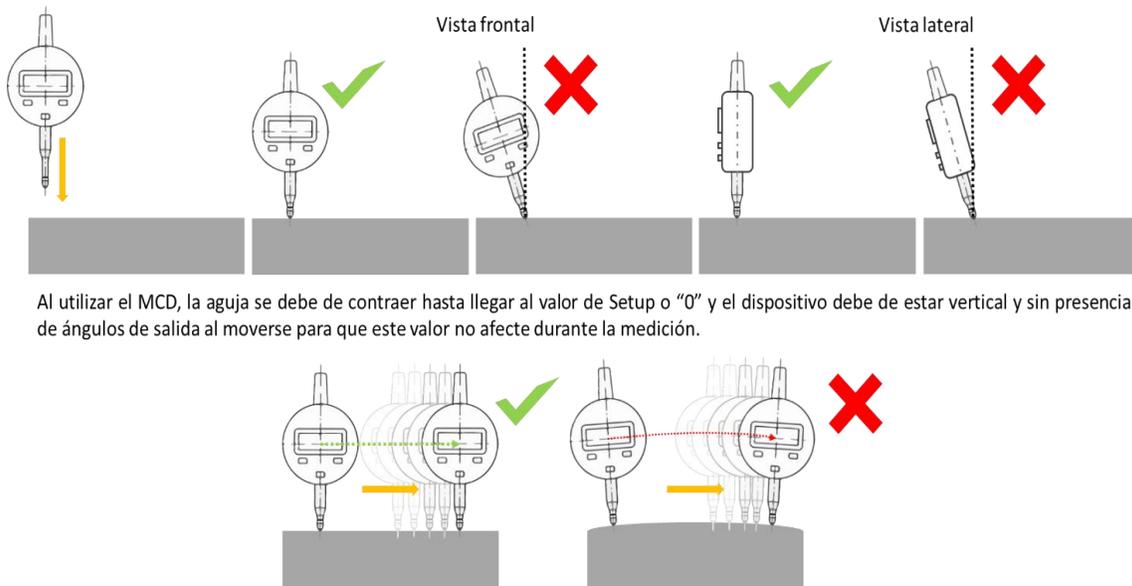


Figura 25. Ilustración de autoría propia de la calibración de un medidor de carátula.



Al mover el MCD, el dispositivo nos ayudará a identificar imperfecciones en la superficie, si los valores son diferentes a "0", significa que la superficie es irregular y dependiendo del nivel de variación se puede decidir si la pieza se encuentra o no dentro de las tolerancias.

Figura 26. Ilustración de autoría propia de la evaluación del recorrido del brazo.

3.4.2. Diseño conceptual

Una vez que se ha evaluado la pieza y se ha analizado el propósito del F&G, se realiza el diseño conceptual de la siguiente manera:

1. Reconstrucción mediante metrología dimensional

Se realizó un proceso de ingeniería inversa para poder obtener el modelo 3D de la pieza, este paso es importante ya que de él se desprenden todas las actividades posteriores al contar con los modelos digitales. La reconstrucción se realizó en dos etapas:

Etapa 1. En esta etapa se realizaron mediciones por contacto para poder obtener los datos de cada una de las características físicas de la pieza, las herramientas utilizadas fueron el vernier o calibre, el medidor de ángulos o goniómetro y el micrómetro. La forma de abordar la problemática fue evaluar las primitivas de la pieza, las cuales son formas geométricas predominantes en el contorno de la figura.



Figura 27. Medición y captura de las mediciones de la pieza.

Etapa 2. Una vez que se ha capturado la mayor cantidad de las medidas de la pieza, se procede a utilizar procedimientos de perfilometría, los cuales permiten como su nombre lo indica, obtener medidas precisas de un perfil. Con ello, se obtienen las mediciones de las partes irregulares de la pieza y que son difíciles de medir manualmente.



Figura 28. Desarrollo de un proceso de perfilometría.

La forma de desarrollar el procedimiento es utilizar una escala milimétrica que posteriormente se convertirá para sacar el valor real del perfil en diferentes secciones.

2. GD&T y CAD de la pieza máster

Una vez que se han obtenido todas las medidas de la pieza, se procede a realizar el modelo 3D, del cual se sacará un dibujo técnico de la pieza máster, así como el dimensionamiento geométrico y tolerancia o GD&T del componente.

Una pieza máster, es la pieza de referencia para el desarrollo de productos o elementos derivados de la misma, mientras que el GD&T es la descripción mediante símbolos de la geometría nominal de la pieza, así como sus tolerancias; los datos clave del GD&T, serán entonces, los DATUMS de la pieza, los cuales son los puntos de referencia.

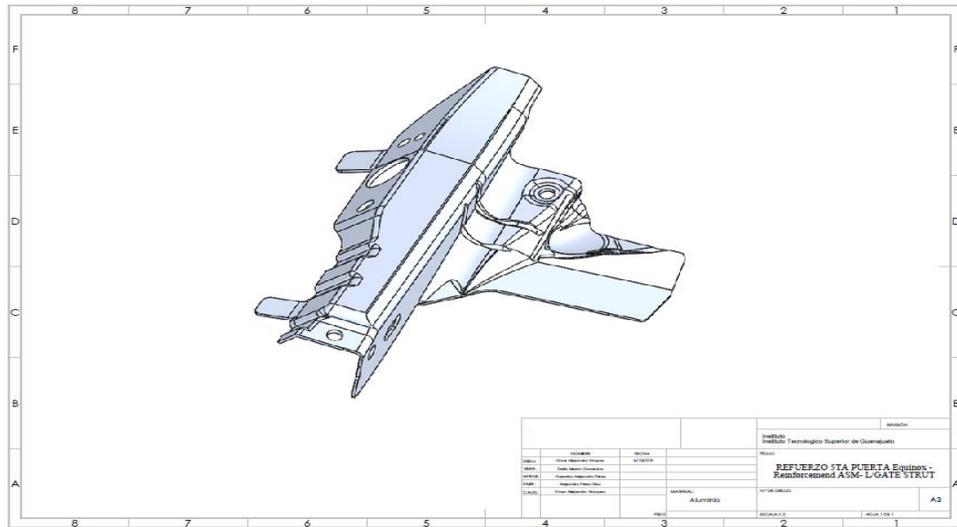


Figura 29. Modelo 3D de la pieza.

Una vez que se cuenta con el modelo 3D, es posible desarrollar tanto el dibujo técnico del GD&T como el diseño del F&G, aunque es necesario validarlo de alguna manera, es por esta razón que se optó por realizar una impresión 3D del componente a escala para comparar las características físicas de ambas piezas.

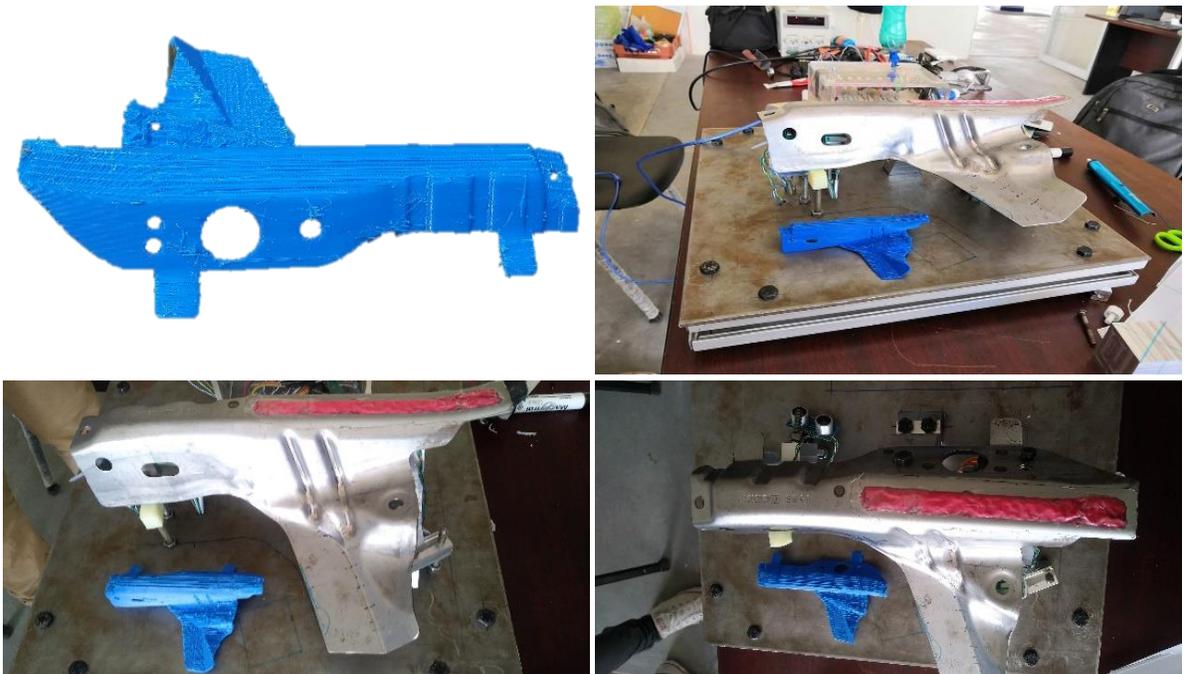


Figura 30. Comparación de la pieza impresa a escala y la pieza real.



Figura 32. Discusión de las mejoras del prototipo utilizando conversational prototyping.

El diseño conceptual sufrió varios ajustes antes de que se pudiera validar la idea conceptual, ya que debía considerar Poka Yokes para reducir la toma de decisiones de los operadores, así como la certidumbre; además de permitir la trazabilidad de las piezas que entraban al F&G como en Kanban, una prueba rápida con el pensamiento de SMED, la mejora futura de los procesos mediante Kaizen y la clasificación y limpieza del equipo para cumplir las 5's.

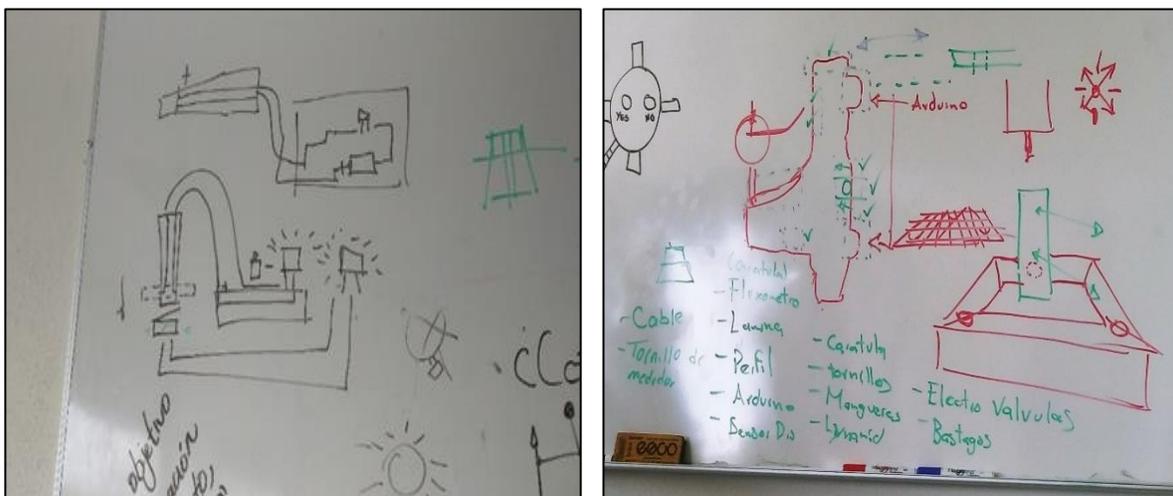


Figura 33. Diseño conceptual del F&G utilizando conversational prototyping.

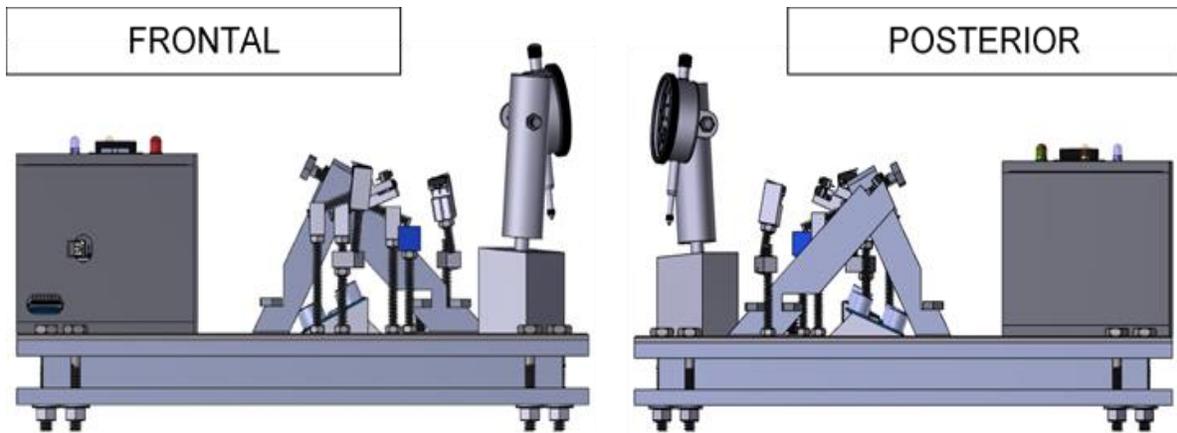
4. CAD del fixture & gage

Una vez que se consideraron todas las restricciones importantes, se inició el proceso de modelado del F&G, mediante los protocolos CAD antes mencionados y trabajando en sinergia todo el equipo de desarrollo.

El diseño cuenta con 70 componentes (Anexo 6-7), pensados en poderse manufacturar en PLA y en aluminio. Los componentes que tienen contacto con la pieza serán de plástico PLA para que estos no la dañen, ya que cualquier rasguño o imperfección que pudieran generar podrían volver a la pieza scrap.

Por otra parte, los componentes que no tienen contacto con la pieza y que funcionan como soportes, se desarrollarán de aluminio, al ser un material resistente, rápido de manufacturar, resistente a la corrosión y a las condiciones ambientales.

Los componentes electrónicos considerados en el sistema de monitoreo del F&G, serán controlados por medio de un sistema Arduino, del cual se sabe existe su versión robusta para procesos de manufactura. Primeramente, en la siguiente figura podemos observar el diseño del fixture:



CHECKING FIXTURE SIN LA PIEZA

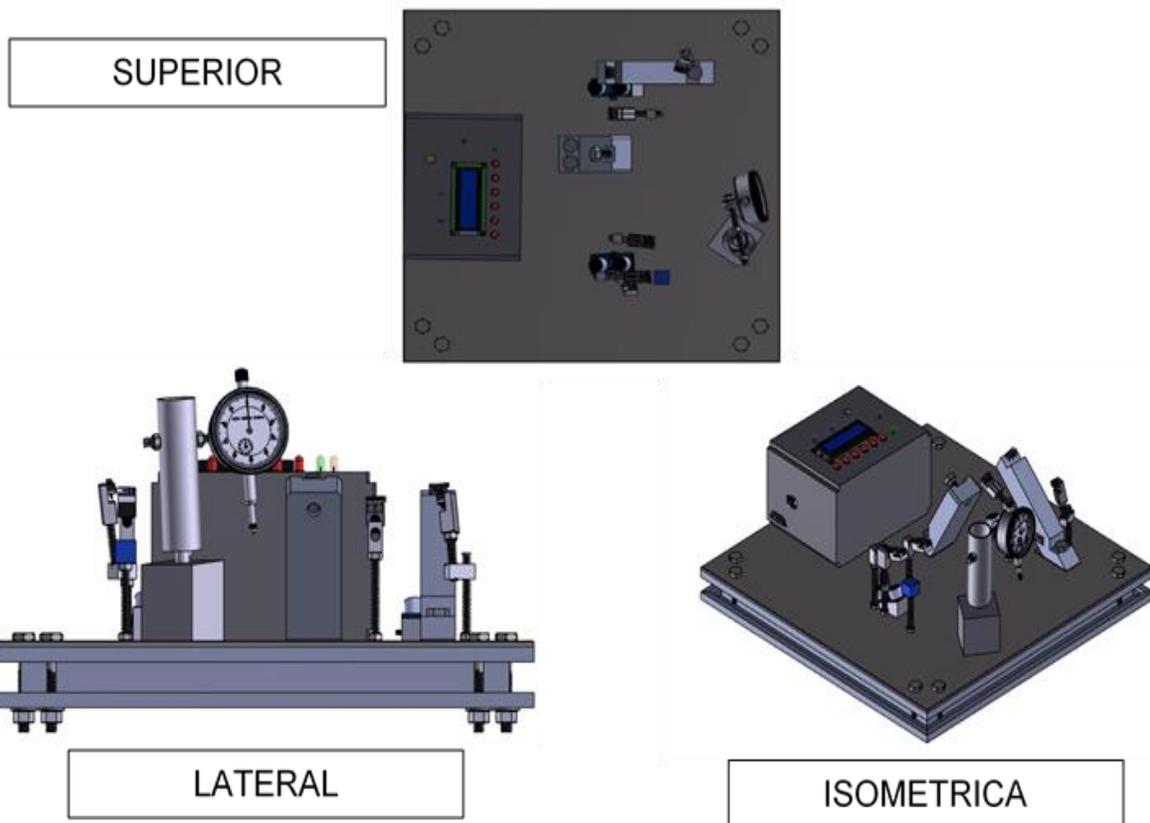


Figura 34. Diseño del F&G sin la pieza.

Posteriormente de manera más detallada en la imagen continua indicamos más a detalle la parte del circuito electrónico integrado al fixture:

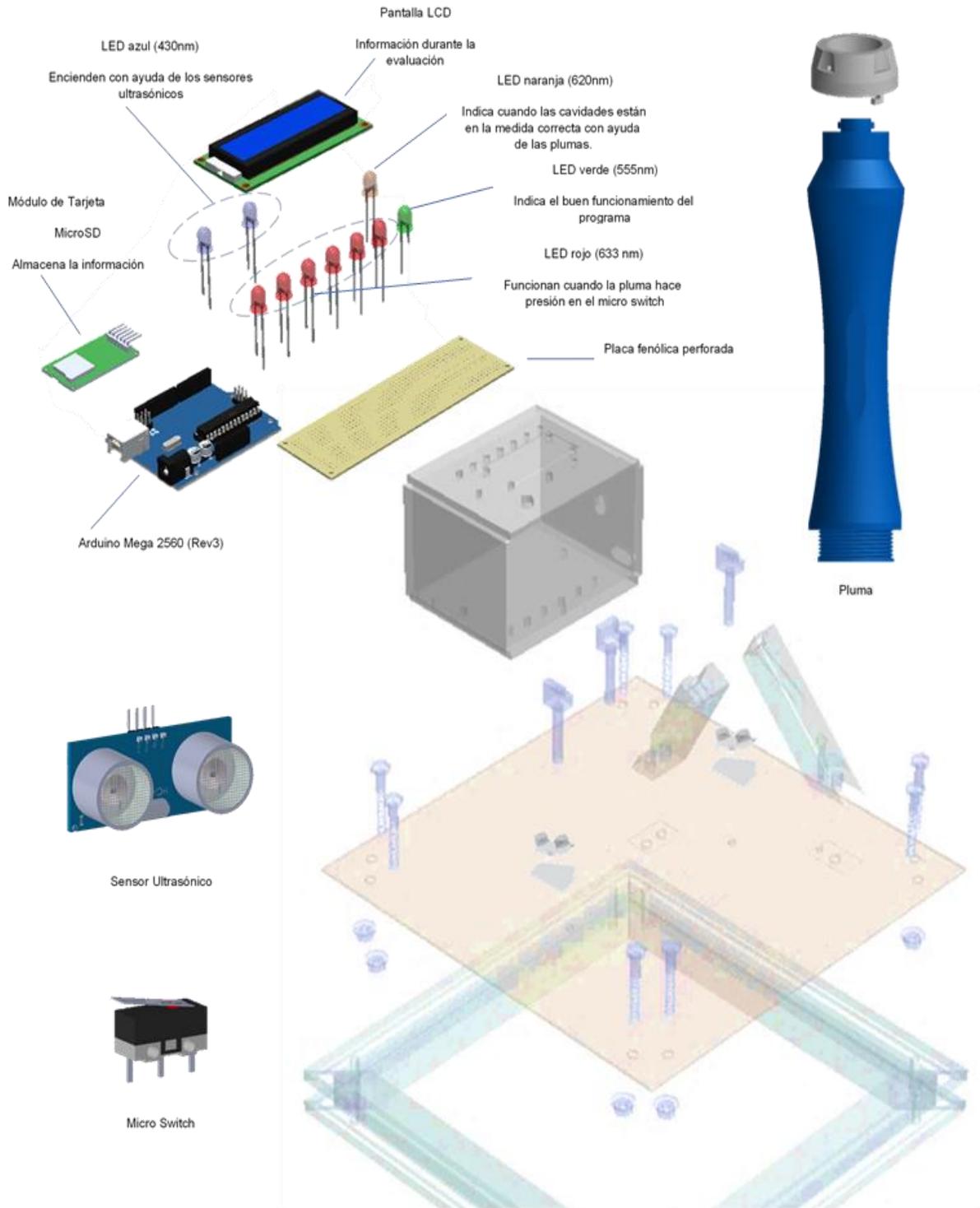


Figura 35. Diseño y definición de componentes electrónicos.

3.4.3. Desarrollo del prototipo

Ya que se ha definido el diseño conceptual se procede a realizar los procesos de manufactura de la siguiente manera:

1. CAE

Primero se realiza una simulación del funcionamiento ya integrando a la pieza para poder reconocer posibles colisiones, su eficiencia y las áreas de oportunidad del dispositivo.

En este apartado se reconoció que el diseño conceptual integraba de una forma adecuada todos los elementos necesarios para la validación de la pieza.

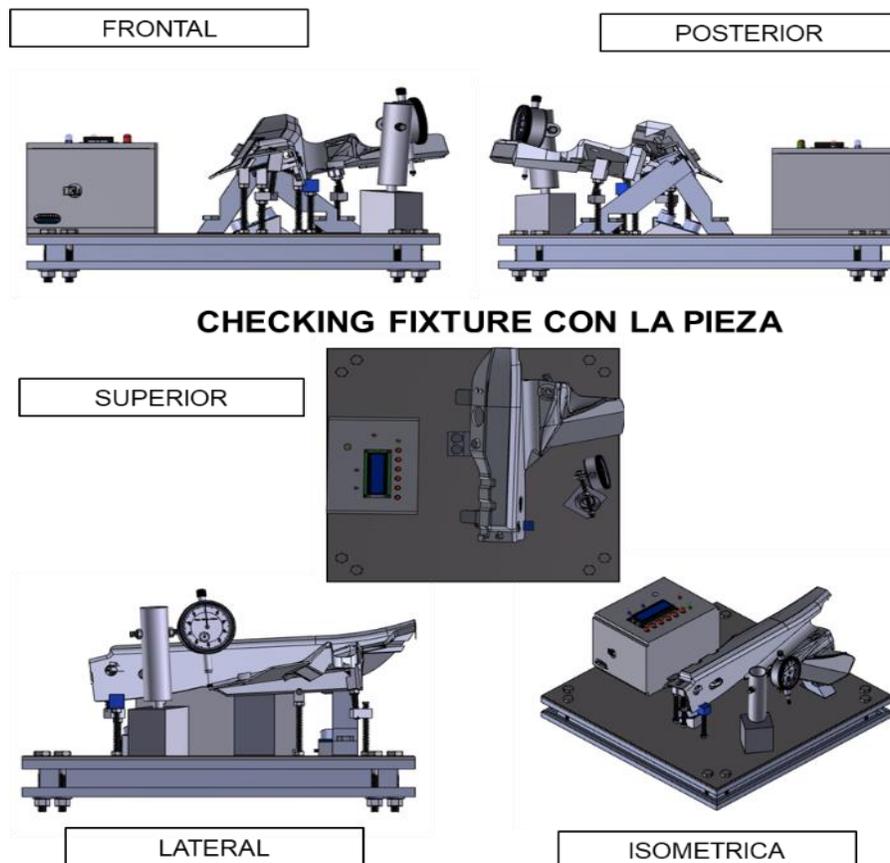


Figura 36. Simulación del manejo de la pieza con el F&G.

Posteriormente se realizaron las simulaciones del código G para validar el proceso de manufactura de todos los componentes. Las máquinas utilizadas fueron el CNC y la impresora 3D. El CNC es al igual que la impresora 3D un equipo que permite realizar mediante coordenadas una pieza, reduciendo el margen de error durante la manufactura y el tiempo de procesamiento. Se probó durante las simulaciones con un CNC FANUC, cortadores de alta velocidad que se encontraban en el rango de 3/16 de pulgada y 1/2 pulgada de diámetro, los cuales posteriormente se hizo su conversión en mm para su manejo.

En dichas pruebas no fue necesario integrar material refrigerante, debido a que el aluminio no alcanzaba altas temperaturas durante su procesamiento.

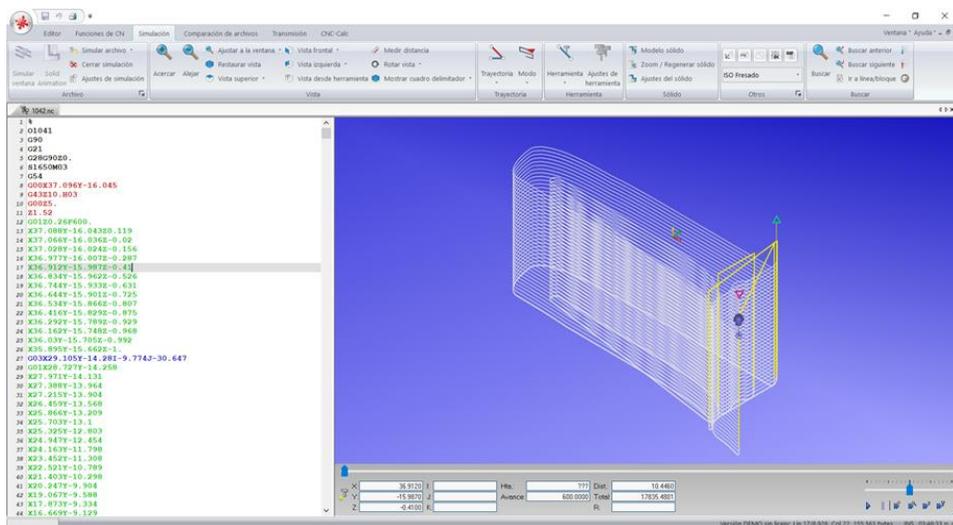


Figura 37. Simulación del código G y M de un componente.

Para el ejemplo mostrado en la figura anterior, se utilizó el software HSMWorks y un cortador de 4.8mm con velocidades programadas en base a las características del aluminio de la siguiente manera:

- a. **Velocidad del eje: 1650rpm**
- b. **Velocidad de superficie: 24.8814m/min**
- c. **Avance por diente: 0.0606061mm**

- d. Avance: 400mm/min
- e. Velocidad de avance de penetración: 150mm/min
- f. Avance por revolución: 0.0909091mm

Nota: Algunos de los valores mostrados anteriormente estarán dados por el tipo de cortador utilizado, en base a las dimensiones de la superficie a cortar, por lo que no se mantendrán siempre.

Adicionalmente se realizaron simulaciones del proceso de impresión 3D utilizando PLA para poder planificar los tiempos, además de poder detectar las áreas que requerirán soportes durante la manufactura.

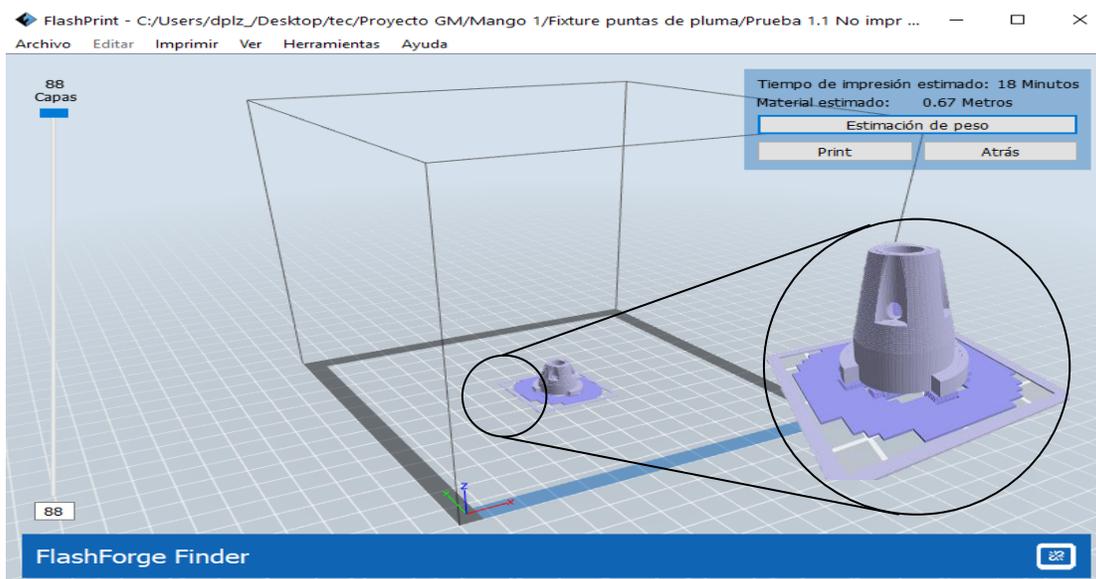


Figura 38. Simulación del código G y E de la impresión 3D de un componente.

Para el ejemplo mostrado en la figura anterior, se utilizó el software Flashprint y como ya se ha mencionado, plástico PLA, con velocidades programadas para un extrusor de 1mm de la siguiente manera:

- a. Temperatura: 210-220°C
- b. Resolución: Estándar
- c. Densidad del relleno: 25%

- d. Tipo de estructura interna y densidad de patrón: Hexagonal
- e. Altura de capa: 0.18mm
- f. Velocidad de avance: 39mm/segundo
- g. Velocidad de posicionamiento: 39mm/segundo

Nota: La cantidad de material utilizado y el tiempo de impresión dependerán del volumen y el nivel de relleno utilizado (densidad del relleno).

2. CAM

Una vez validados los procesos, se procedió a la manufactura, la cual se dividió en dos etapas, la primera es la producción de los componentes del F&G y la segunda es el desarrollo del circuito del sistema de comparación.

Etapa 1. Durante esta etapa se produjo los componentes de aluminio y PLA, para lo cual, adicionalmente al uso de la maquinaria mencionada, se utilizó herramientas de mano para realizar pequeños ajustes durante el ensamble.



Figura 39. Evidencias del proceso de manufactura.

Un dato importante de esta etapa, es que se estuvo evaluando constantemente la base de comparación durante su manufactura para poder tener los dos valores de referencia para el uso del MCD.



Figura 40. Evaluación de los valores de la base de comparación.

Se buscó llegar en el valor de especificación a 9.5mm, que es la altura necesaria para llegar a “0” variación al montar la pieza refuerzo y 10 en su valor más alto, ya que es el más crítico debido a que si se encuentra uno mayor, será imposible ajustar la tapa a la carrocería.

Etapas 2. En paralelo al proceso de producción de las piezas en el CNC, se desarrolló un control del sistema de medición para dar un seguimiento adecuado de las piezas evaluadas, el cual debía de contar con los siguientes elementos:

- a. **Ayudas y alertas visuales.** El sistema debe de ser fácil de interpretar por el operador y debe permitirle de una manera rápida alertar de los hallazgos encontrados en la producción, además, de que debe de eliminarle la toma de decisiones; es por ello que el sistema tendrá un circuito cerrado que cada que el operador realice la evaluación de la función, le mostrará en verde, que la pieza cumple con la acción y rojo que no realiza correctamente la acción, esto debido a que todas las otras características se obtiene su información con el equipo de medición, pero la funcionalidad es un apartado del cual no existe forma de medirlo fácilmente ya que es un valor cualitativo, además de

que puede ser ambiguo para el operador saber si la pieza es conforme o no. A esto, el sistema sumará una alerta al operador sobre si la circunferencia del cerrojo es del tamaño correcto para poder ser sujetado.

b. Controles históricos de hallazgos. Toda la información de las pruebas realizadas se almacenará en una memoria interna del sistema, con el objetivo de obtener gráficos estadísticos o bien, y ser procesado en softwares especializados para realizar estudios de la misma naturaleza.

c. Base de datos. Debido a que el sistema llevará la trazabilidad de los componentes que se someten a prueba, deberá contar con una base de datos en la cual se integrará el número de la prueba, la fecha y hora y el hallazgo encontrado.

En la siguiente ilustración se mostrará el esquema planteado para desarrollar el sistema. Se decidió realizarlo en el software Fritzing y desarrollar un BOM (Anexo 8) de los elementos que lo integrarían para facilitar el proceso de adquisición de componentes.

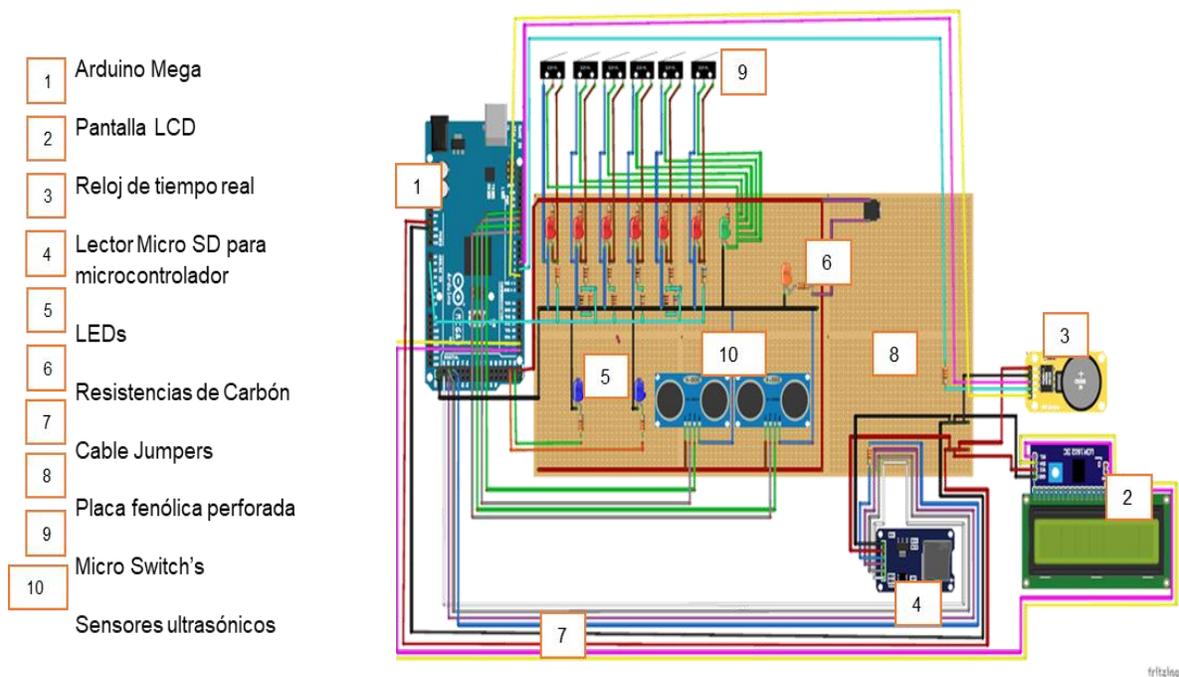
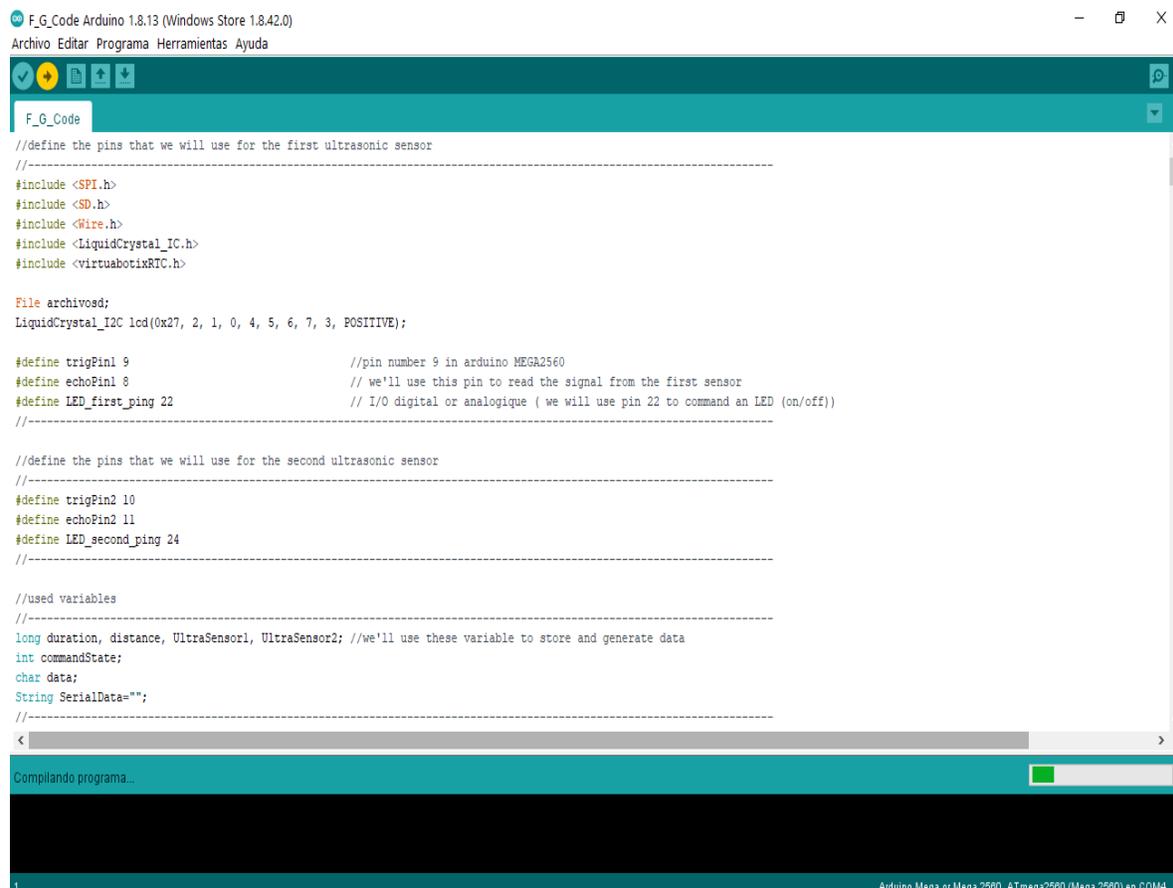


Figura 41. Esquema técnico del circuito del sistema de medición.

El sistema fue pensado desarrollarse mediante Arduino, debido a su facilidad de adquisición, programación, manejo y adicionalmente, a que existe su versión industrial para trabajos robustos, la cual puede ser más avanzada que un PLC al tener libertad de programación.

En el anexo 9 se contendrá la programación generada para el dispositivo, ya que dicha información se encuentra extendida, de la cual se mostrará una imagen de su proceso de desarrollo a continuación.



```
//define the pins that we will use for the first ultrasonic sensor
//-----
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_IC.h>
#include <virtuoabotixRTC.h>

File archivos;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);

#define trigPin1 9 //pin number 9 in arduino MEGA2560
#define echoPin1 8 // we'll use this pin to read the signal from the first sensor
#define LED_first_ping 22 // I/O digital or analogue ( we will use pin 22 to command an LED (on/off))
//-----

//define the pins that we will use for the second ultrasonic sensor
//-----
#define trigPin2 10
#define echoPin2 11
#define LED_second_ping 24
//-----

//used variables
//-----
long duration, distance, UltraSensor1, UltraSensor2; //we'll use these variable to store and generate data
int commandState;
char data;
String SerialData="";
//-----

<
>
```

Compilando programa...

1 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) en COM4

Figura 42. Esquema técnico del circuito del sistema de medición.

El sistema captura la información de las fallas encontradas al evaluar las cavidades de la pieza con los Go-NoGo, por lo que al final del turno se puede obtener un reporte estadístico como se muestra en la siguiente figura:

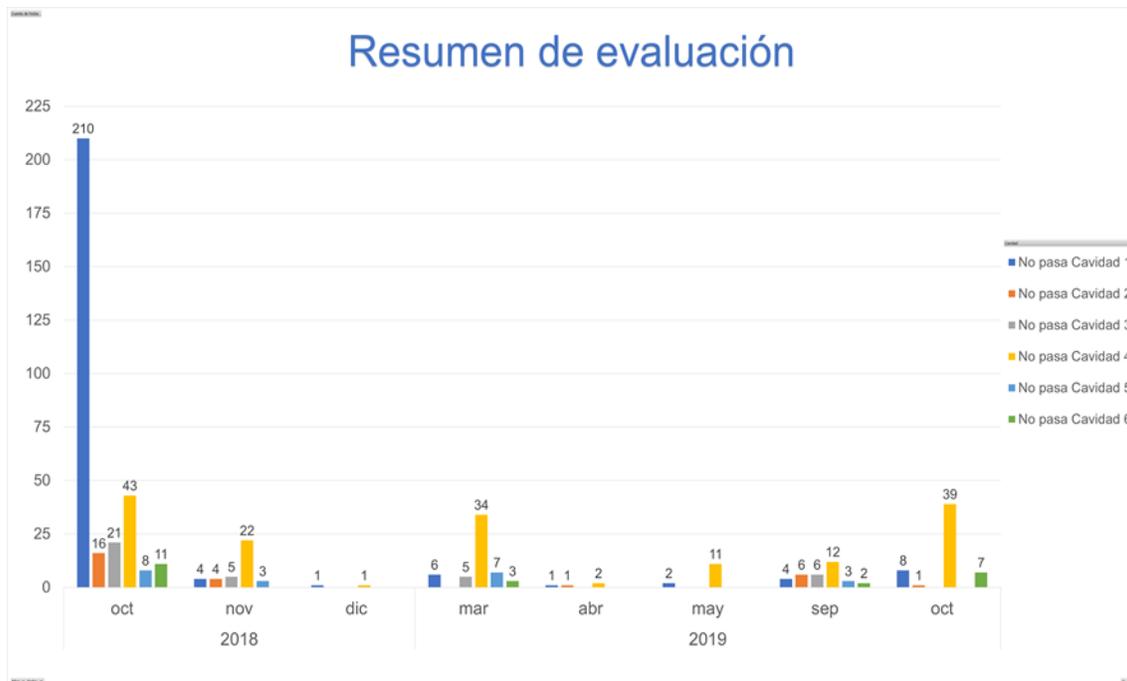


Gráfico 7. Ejemplo del resumen de evaluaciones realizadas en un turno.

En el reporte, el sistema captura las fallas, clasificándolas por tipo, cantidad y fecha de aparición. Dicha información no es posible que el operador la pueda manipular por lo que él solo se alertará de los hallazgos encontrados para poder informar a las áreas de interés.

3. Realidad aumentada enfocada a procesos de capacitación

Una vez desarrollados los elementos físicos del F&G y la programación, se pasó al desarrollo de un sistema de capacitación rápida enfocado a los operadores del equipo de medición. Debido a que en la actualidad las empresas del sector automotriz están pasando por el proceso de integración de la manufactura 4.0. El proceso de capacitación debida de tener ese pensamiento para que fiera rápido de implementar, con bajo costo en el proceso de capacitación, si la necesidad de soporte técnico especializado y con la posibilidad de reproducirlo las veces que el operador lo necesite, inclusive durante el proceso productivo. Es por estas razones, que la realidad aumentada juega un papel muy importante en este apartado ya que con ella se puede cumplir cada uno de los puntos mencionados.

Para desarrollar la AR, se optó utilizar el software para ensamblar programas llamado Unity debido a su fácil integración con elementos de AR, además de que permite una programación orientada a objetos y su proceso de desarrollo es acelerado. Los modelos 3D se exportaron de Solidworks a SketchUp y se desarrollaron elementos de la interfaz en Adobe Illustrator.

El sistema para manejar la realidad aumentada seleccionado es EasyAR, al ser una plataforma que permite realizar sistemas con licencia gratuita y con integración en Unity; para el lenguaje se utilizó C# desarrollado en Visual Studio Community por su licencia gratuita.

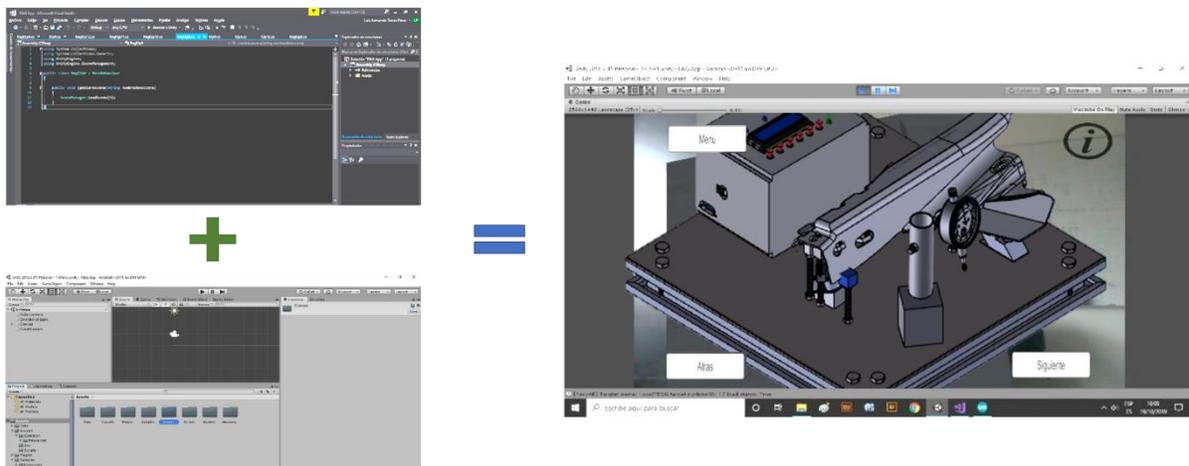


Figura 43. Ilustración del proceso de desarrollo de AR integrando Visual Studio y Unity.

La aplicación final, le muestra al operador por medio de un dispositivo móvil o tableta, los pasos para utilizar el F&G mediante modelos 3D de AR.

3.4.4. Pruebas del Usuario

Después del proceso de desarrollo, se realizan las pruebas necesarias para demostrar la confiabilidad del dispositivo, por lo que se realizan los siguientes análisis:

1. MSA

Inicialmente se realiza un análisis por medio del AMEFD (Anexo 10) para poder evaluar al F&G y reconocer sus áreas de oportunidad.

Se procedió al desarrollo de las pruebas estadísticas. Se decidió realizar una prueba R&R por atributos, debido a que era importante demostrar la facilidad de uso por parte de los operadores y el nivel de confiabilidad del dispositivo.

Para este experimento se realizó un estudio con cuatro operadores, en el cual se consideraron 5 piezas que corresponden a cada cavidad de la pieza, siendo un total de 25 simulaciones de cavidad, una de las plumas comparte la medida de otra cavidad. en la figura 46 podemos observar las cavidades de PLC que nos ayudaron a realizar esta prueba.



Figura 44. Armado de plumas de PLC con cavidades de prueba para R&R.

Pruebas de los Go-NoGo. Este análisis realizado en Minitab, cabe recalcar que la pluma 4 comparte con la cavidad 4 y cavidad 6 su direccionamiento, a continuación, tenemos en resume la información considerada en evaluaciones a los 4 operadores, mediante ANOVA para obtener el nivel de exactitud, además de evaluaciones de la linealidad y sesgo de las pruebas.

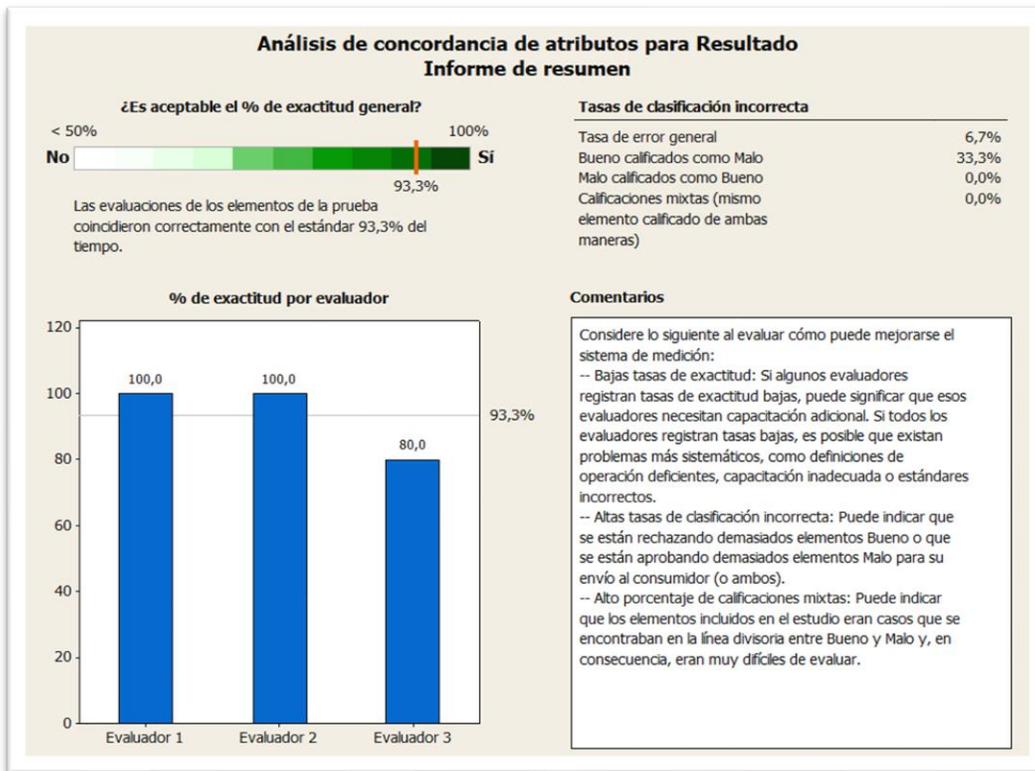


Gráfico 8. Análisis de pluma 1 – Cavidad 1

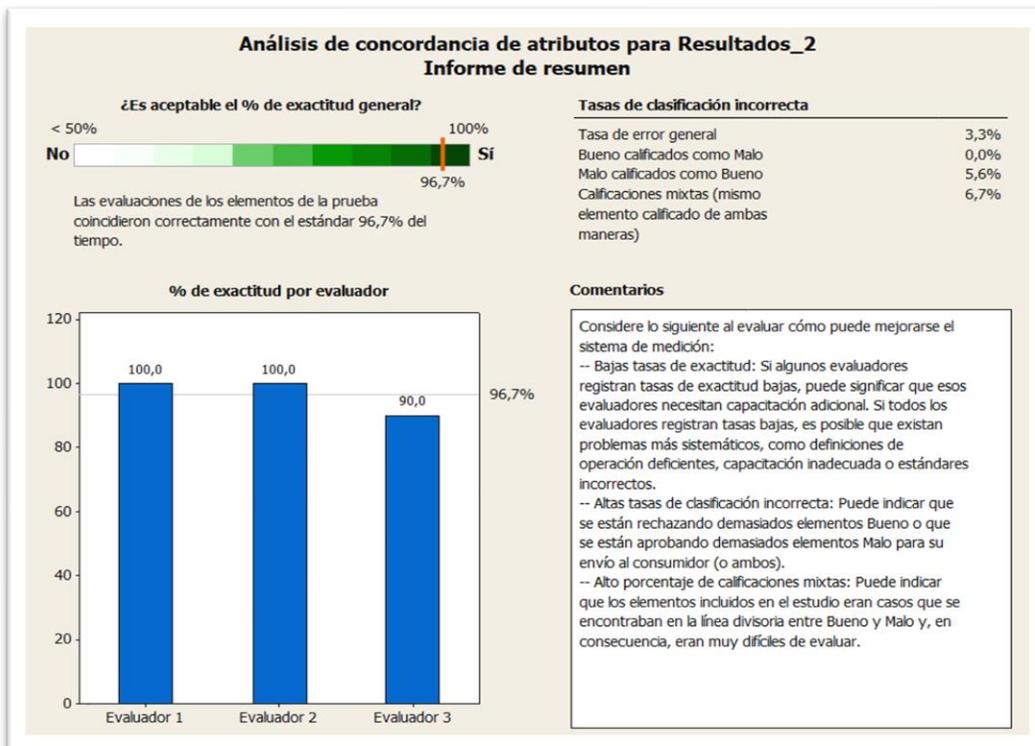


Gráfico 9. Análisis de pluma 2 - Cavidad 2

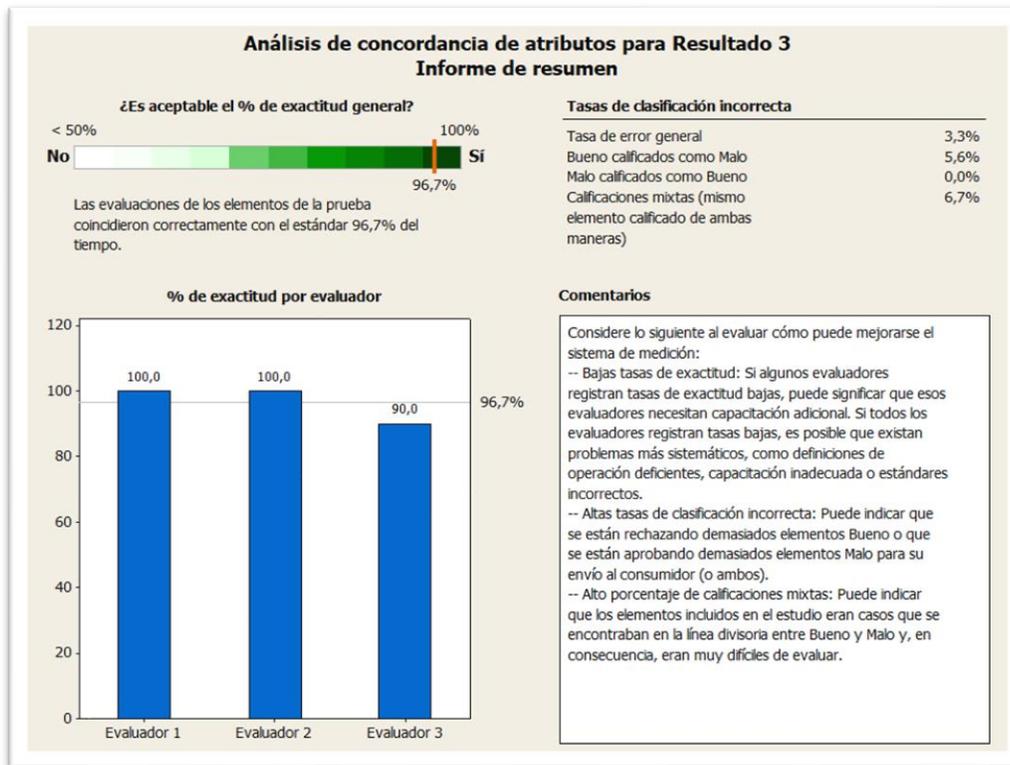


Gráfico 10. Análisis de pluma 3 – Cavidad 3

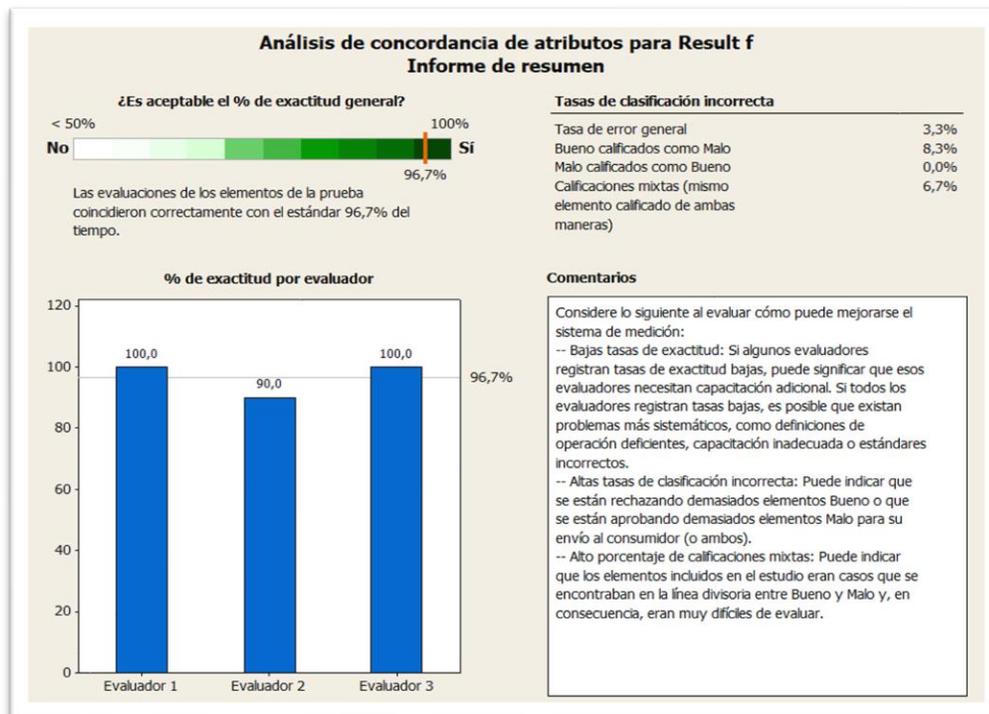


Gráfico 11. Análisis de pluma 4 – Cavidad 4 y 6

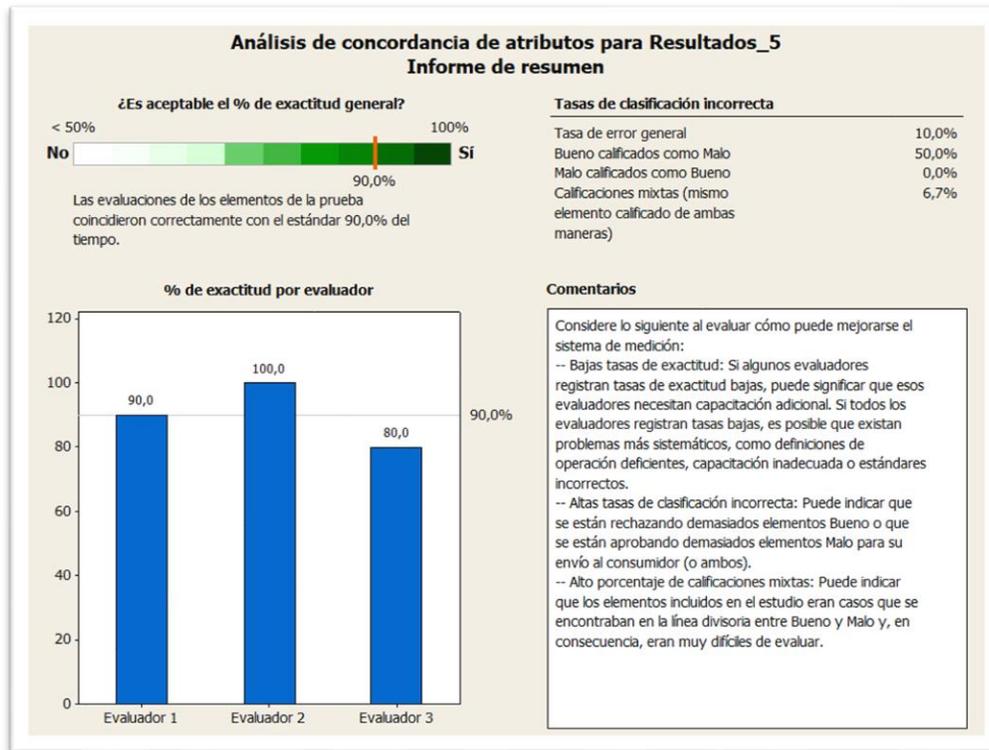


Gráfico 12. Análisis de pluma 5 - Cavidad 5

Como se puede apreciar en los resultados de minitab todos los sistemas comparadores Go-NoGO tienen un 94.68% de eficiencia como valor promedio, por lo que la tasa de error es del 5.32% dicho valor indica, con base en el análisis cruzado de resultado de operadores, el nivel de exactitud es alto por lo que tiene un buen nivel de confiabilidad e indica que es un sistema intuitivo, al tener un valor α cercano a 0.05, por lo que es fácil de utilizar, y se puede llegar a reducir más dicho valor con los actuadores (micro switch) que se han integrado al gage, ya que le permitirán al usuario reconocer cuando una pieza, resulta mala, y mediante el circuito cerrado sabrá cuando una pieza esta Ok.

2. Planteamiento de mejoras y liberación del dispositivo

Una vez realizadas las pruebas anteriores se descubrieron varios datos importantes sobre el F&G.

Primero que nada, se debe de mejorar el sistema de sujeción de la pieza en el F&G para reducir los tiempos de posicionamiento, además de que se debía asegurar que el Go-NoGo, contará con el rango de medición adecuado para la prueba.

Una mejora planteada a futuro es la posibilidad de integrarle al sistema Arduino un módulo Wifi, para comunicar la información a una PC y a los tableros de control, con el objetivo de evaluar los datos en tiempo real, logrando la integración por medio de IoT.

Por parte de las pruebas, se reconoció que el dispositivo tiene un alto nivel de exactitud, y que los errores presentes son debidos a la falta de experiencia del operador y la sensibilidad de los micro switch, por lo que es posible que se incremente la confiabilidad del dispositivo con el tiempo.

Se considera que, hasta este punto, el dispositivo es funcional y puede ser liberado para pasar a la etapa de documentación y el desarrollo del manual de usuario.

3.4.5. Auditoría y seguimiento

Finalmente, para concretar el proceso de desarrollo del F&G, se realiza las guías necesarias para los usuarios que dispondrán del dispositivo de la siguiente manera:

1. Manual de usuario y pruebas de manejo del dispositivo

El manual del usuario es desarrollado de una forma clásica, el cual contiene información sobre: el propósito del dispositivo, las recomendaciones realizadas, el

método de uso para la evaluación, el proceso de toma de decisiones basado en la medición, la programación del mantenimiento y un formato de las órdenes de trabajo.

Ya que dicha información se encuentra extendida, se integrará de la siguiente manera en los anexos:

- a. **Anexo 11.** Propósito del dispositivo, las recomendaciones realizadas, el método de uso para la evaluación.
- b. **Anexo 12.** Toma de decisiones basado en la medición.
- c. **Anexo 13.** Programa de mantenimiento.
- d. **Anexo 14.** Formato de orden de trabajo.

Capítulo 4

Discusión y análisis de resultados

4.1. Resultados

A continuación, se enlistarán los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto:

1. Ficha técnica GD&T con DATUMS de la pieza

Un primer elemento obtenido para el desarrollo del F&G fue el GD&T de la pieza. Este dibujo técnico contiene todos los puntos críticos de la pieza, por lo que resultaba importante para las etapas futuras.

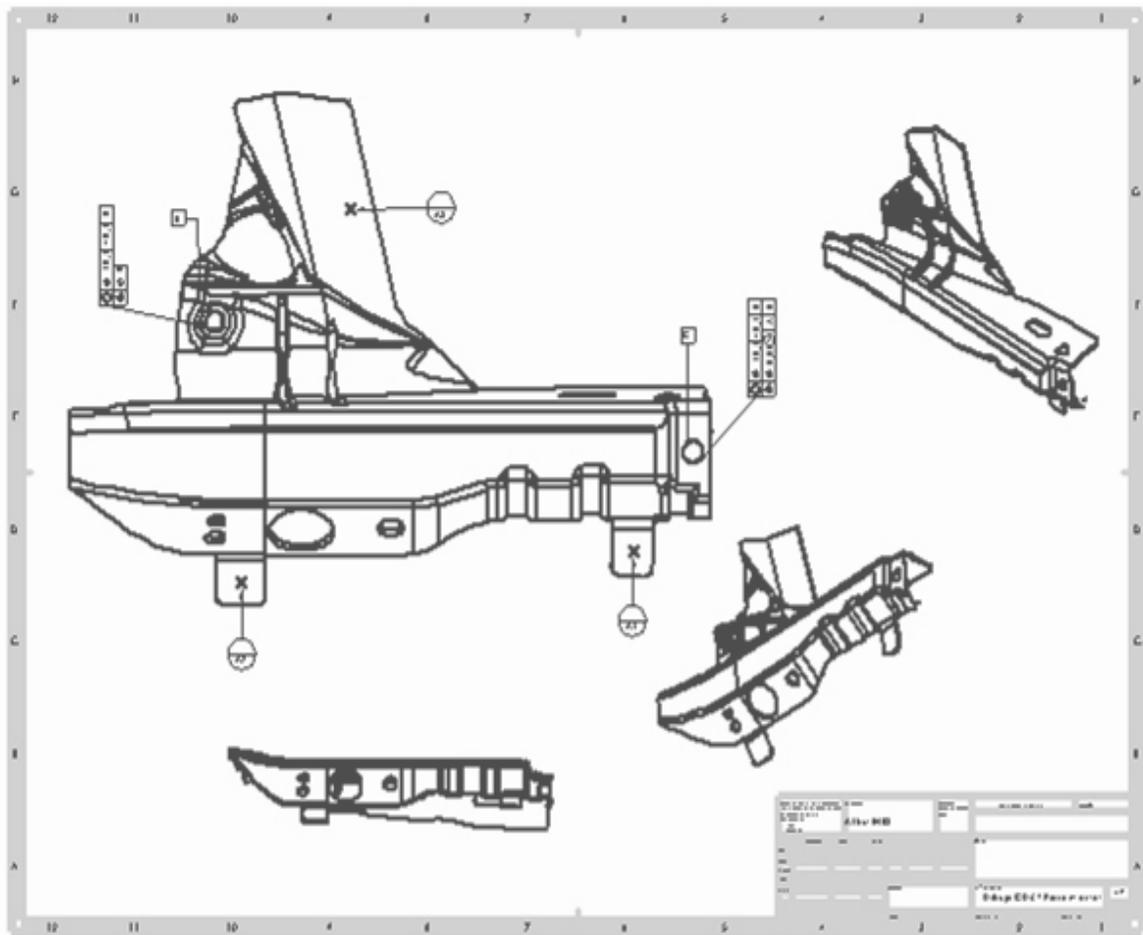


Figura 45. Ficha técnica GD&T con DATUMS de la pieza

2. Diseño de la pieza y del F&G

Para el desarrollo del dispositivo tuvo que desarrollarse conceptualmente un prototipo que posteriormente se debía de diseñar y manufacturar, los dibujos técnicos de cada uno de los componentes se muestran en los Anexos 15 y 16.

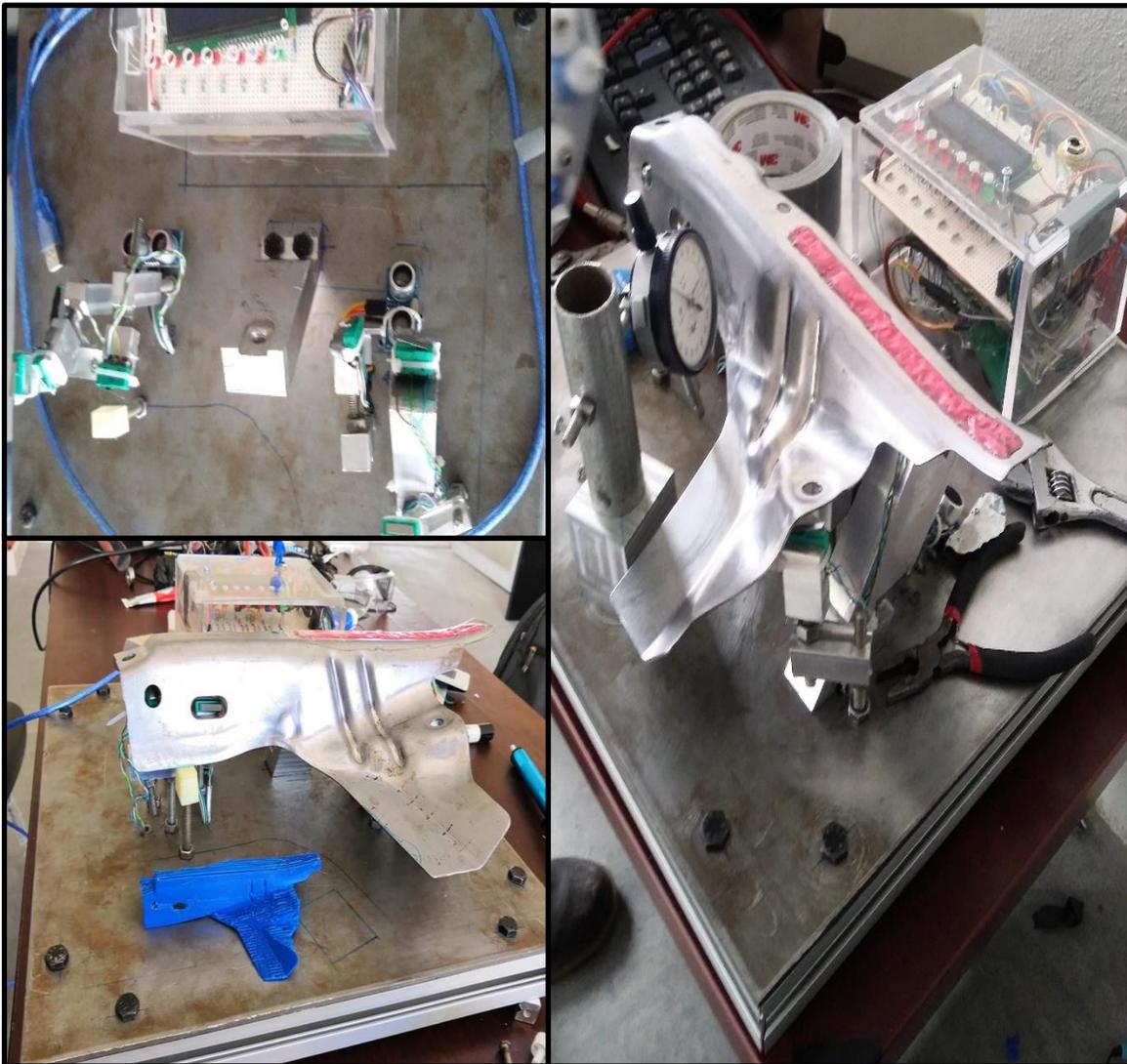


Figura 46. Forma final del F&G y el sistema de medición.

3. Programación del sistema de medición

La programación del sistema, como ya se ha mencionado anteriormente, se encuentra de forma descriptiva y extensiva en el Anexo 9 y permite la detección de piezas no conformes contando un nivel de exactitud del 94.68%.

4. Eficiencia del dispositivo expresada en confiabilidad

A continuación, se mostrará un resumen de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas. El porcentaje de exactitud general del medidor de carátula es de 100% y el del Go-NoGo es de 94.68%, valores considerados aceptables ya que se encuentran en un rango de 90% y 100%. Con bajas tasas de clasificación incorrecta y un bajo porcentaje de calificaciones mixtas. Además, como ya se ha comentado, la razón de los valores de error es debido a la falta de experiencia por parte del evaluador responsable, por lo que solo se requiere que el operador se familiarice con el dispositivo y las pruebas.

Análisis de pluma - Cavidad	% de eficiencia
Pluma 1 – Cavidad 1	93.3%
Pluma 2 – Cavidad 2	96.7%
Pluma 3 – Cavidad 3	96.7%
Pluma 4 – Cavidad 4 y 6	96.7%
Pluma 5 – Cavidad 5	90.0%

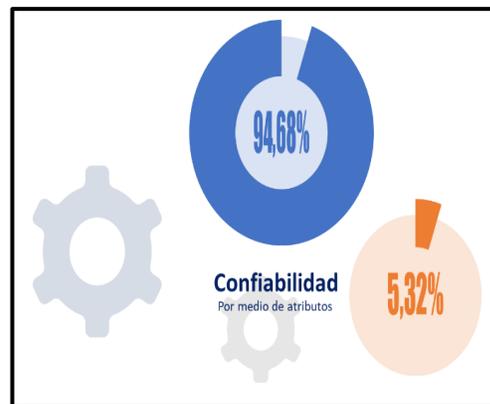


Tabla 3. Resumen de resultados de la concordancia de atributos.

4.2. Importancia o trascendencia

El desarrollo del sistema de medición y el F&G, ha contribuido de una manera positiva en la evaluación de una pieza de producción, ya que permite realizar pruebas rápidas dentro del proceso productivo, minimizando el margen de error, además de que ayuda a enfocar los esfuerzos de manufactura de una forma eficiente al detectar las fallas en el proceso productivo y señalar los hallazgos encontrados en la pieza.

Debido a que el sistema integra información estadística, ayuda a movilizar a la tecnología hacia la manufactura 4.0; por lo que, debido a que el dispositivo se pensó para ser mejorable, es posible reestructurar la información de la programación y de los componentes utilizados.

Haciendo por estas razones, que el sistema pueda ser replicable, extendiendo su uso y utilidad hacia otras piezas, volviéndolo un medio adecuado para realizar la trazabilidad de la producción de una empresa.

4.3. Conclusiones y recomendaciones

A través de los años el ser humano ha sufrido grandes cambios en su nivel de vida, los conocimientos que se han ido adquiriendo ha sido para el beneficio en cuanto a su aplicación. Para ello es muy importante entender principios básicos y técnicas para el desarrollo del prototipo y de esta manera detener las dificultades que se presentan e incluso desarrollar nuevos procedimientos para el diseño de nuevos fixtures and gage. Así pues, el uso de la tecnología para el desarrollo de los fixtures and gage ayuda a ser más exactos en cuanto a mediciones para piezas automotrices, generando una mayor confianza para la empresa.

Por tanto, este tipo de dispositivos de medición ayuda a determinar que una pieza tenga las especificaciones que requiere y al ser desarrollados también se debe de analizar la utilidad que tendrá la pieza para el cuál será hecho y de las características y puntos críticos que esta tiene, con esto se obtiene un enfoque más completo que abarque gran parte de las características para que al operador se le facilite su trabajo y pueda optimizar tiempo en la línea de producción.

Si bien, para elaborar el dispositivo fue requerido el trabajo en equipo, así como la armonía y comunicación de este. El trabajo aplicado en el desarrollo del dispositivo de medición tuvo como principal objetivo, cumplir con los requerimientos y restricciones establecidos en la convocatoria. Para esto, se llevó a cabo un

cronograma de actividades el cual incluía tiempos de investigación y de trabajo de operación para desarrollar los temas requeridos y aplicarlos en la creación del nuestro dispositivo. Como equipo trabajamos en forma colectiva, realizando lluvias de ideas tanto para el diseño de la pieza máster en 3D como para el del dispositivo. Así mismo, en ocasiones llevamos a cabo la aplicación de la técnica Phillips 66 para aportar ideas sobre el diseño de algún componente del sistema de medición y lo combinamos junto con nuestras habilidades lo que nos llevó a una conclusión, mejora o solución.

Anexos

Anexo 2. Ficha Técnica

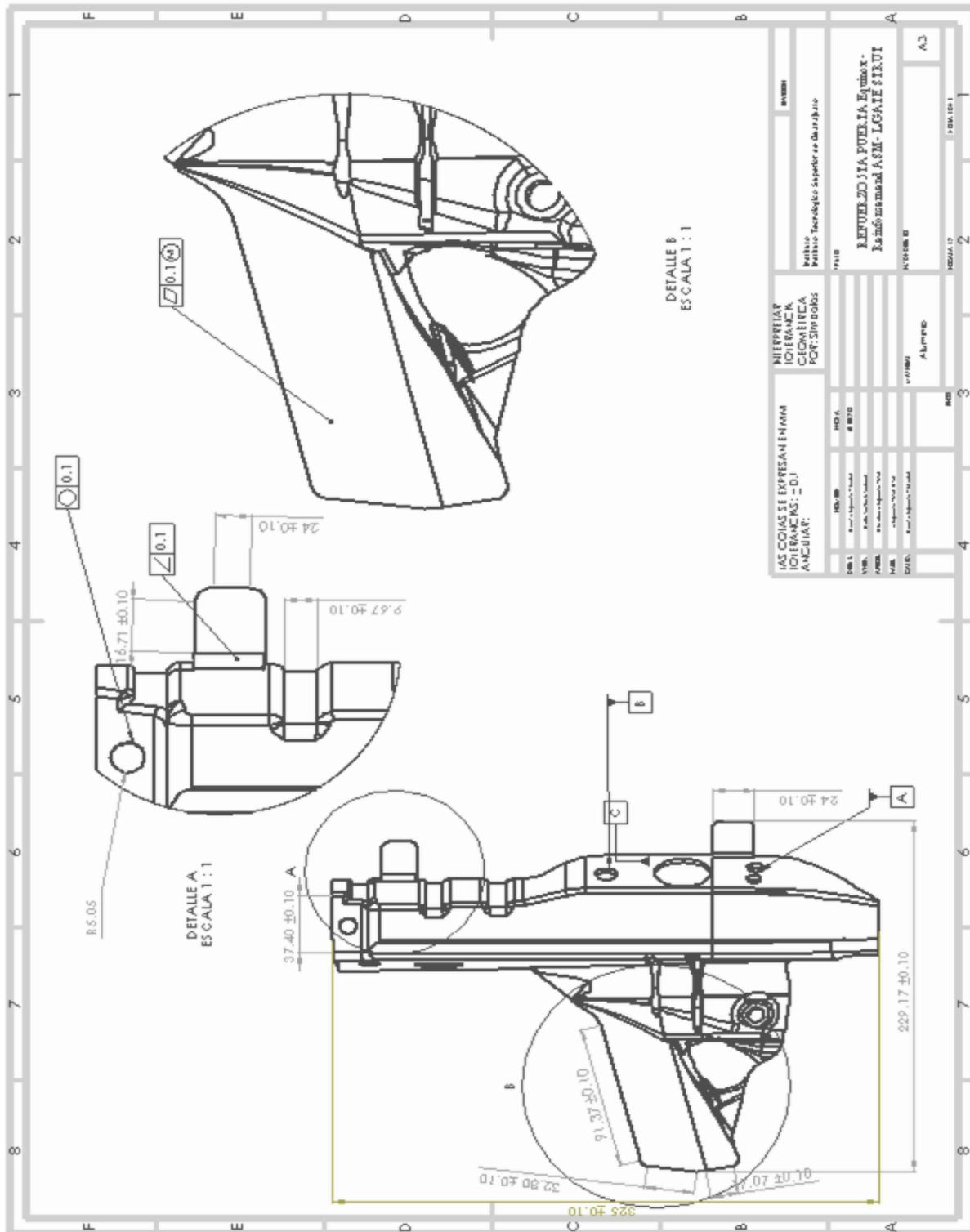


Figura 48. Ficha técnica GD&T con DATUMS de la pieza 2

Anexo 3. Ficha Técnica

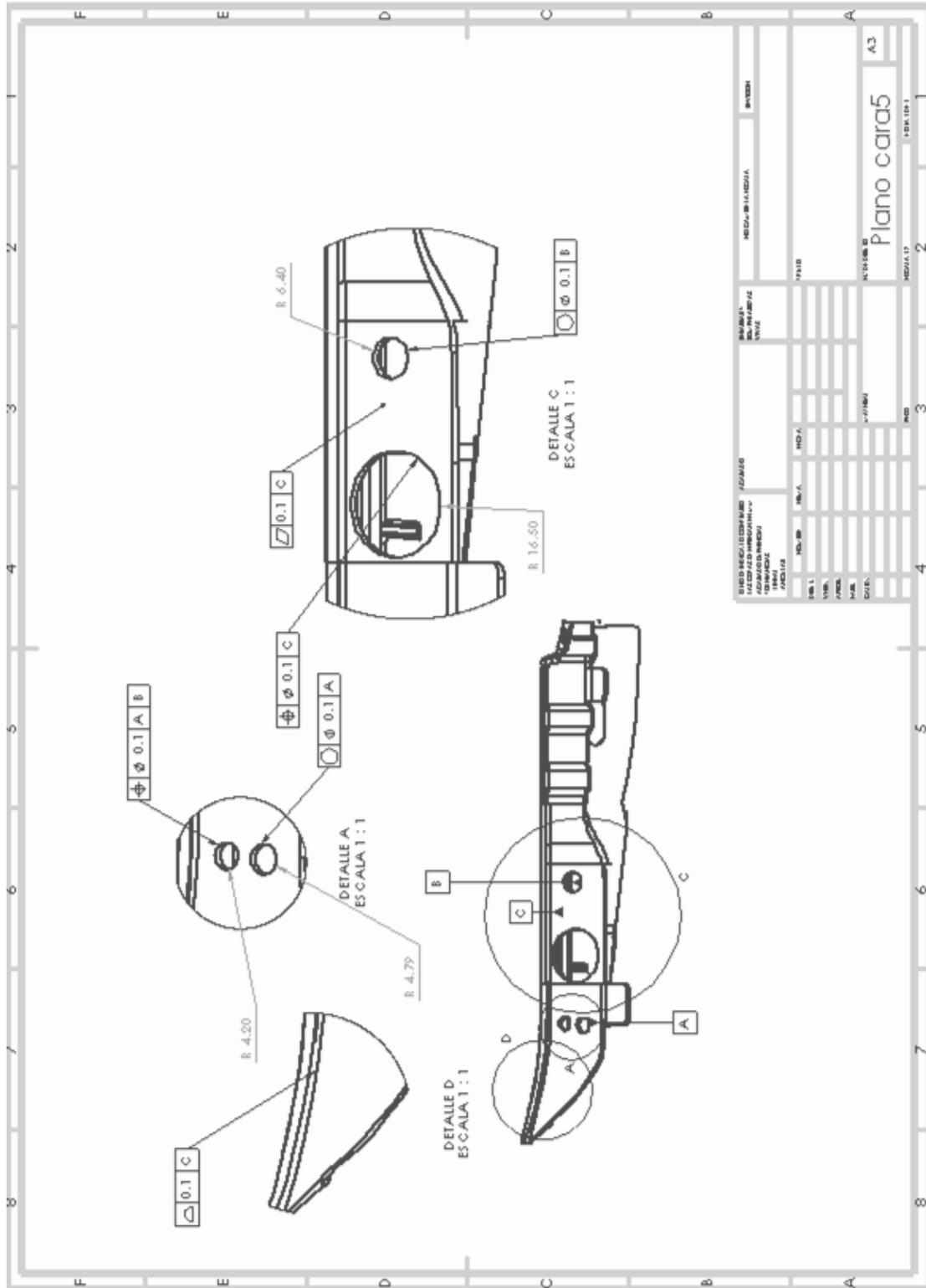


Figura 49. Ficha técnica GD&T con DATUMS de la pieza 3

Anexo 4. Ficha Técnica

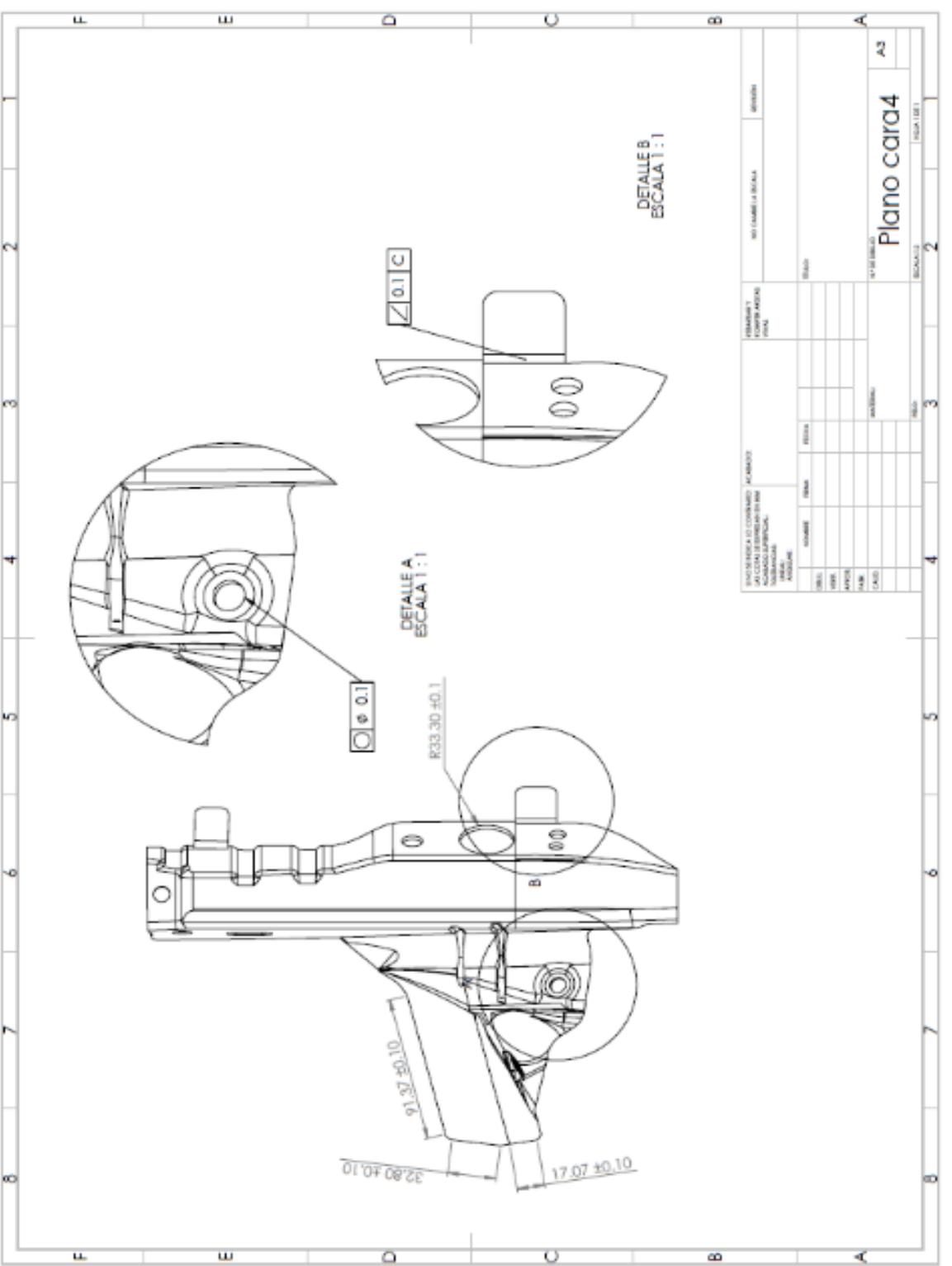


Figura 50. Ficha técnica GD&T con DATUMS de la pieza 4

Anexo 5. Dibujo técnico de la pieza

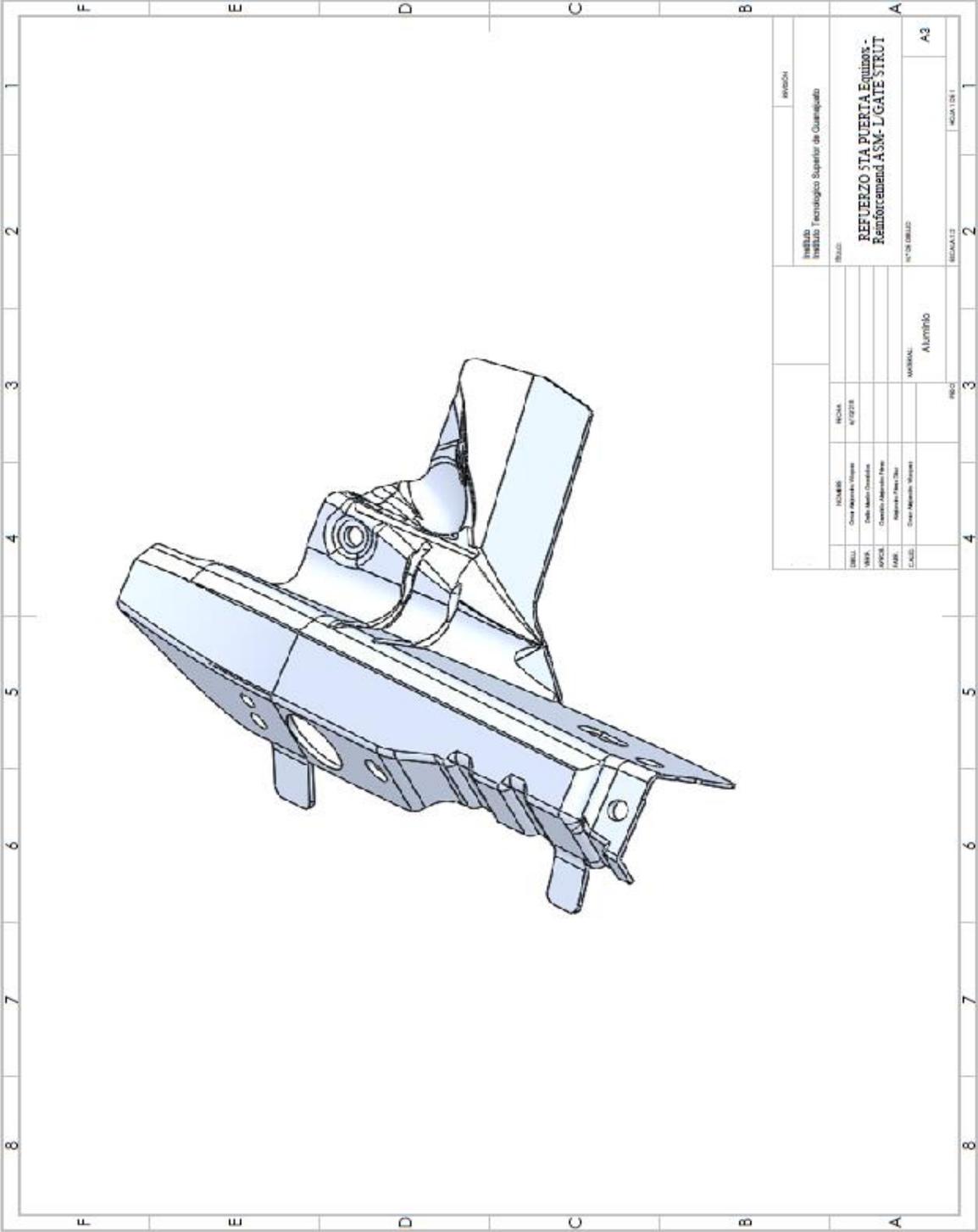


Figura 51. Dibujo técnico de la pieza.

Anexo 6. Componentes del diseño pensados en poderse manufacturar en PLA.

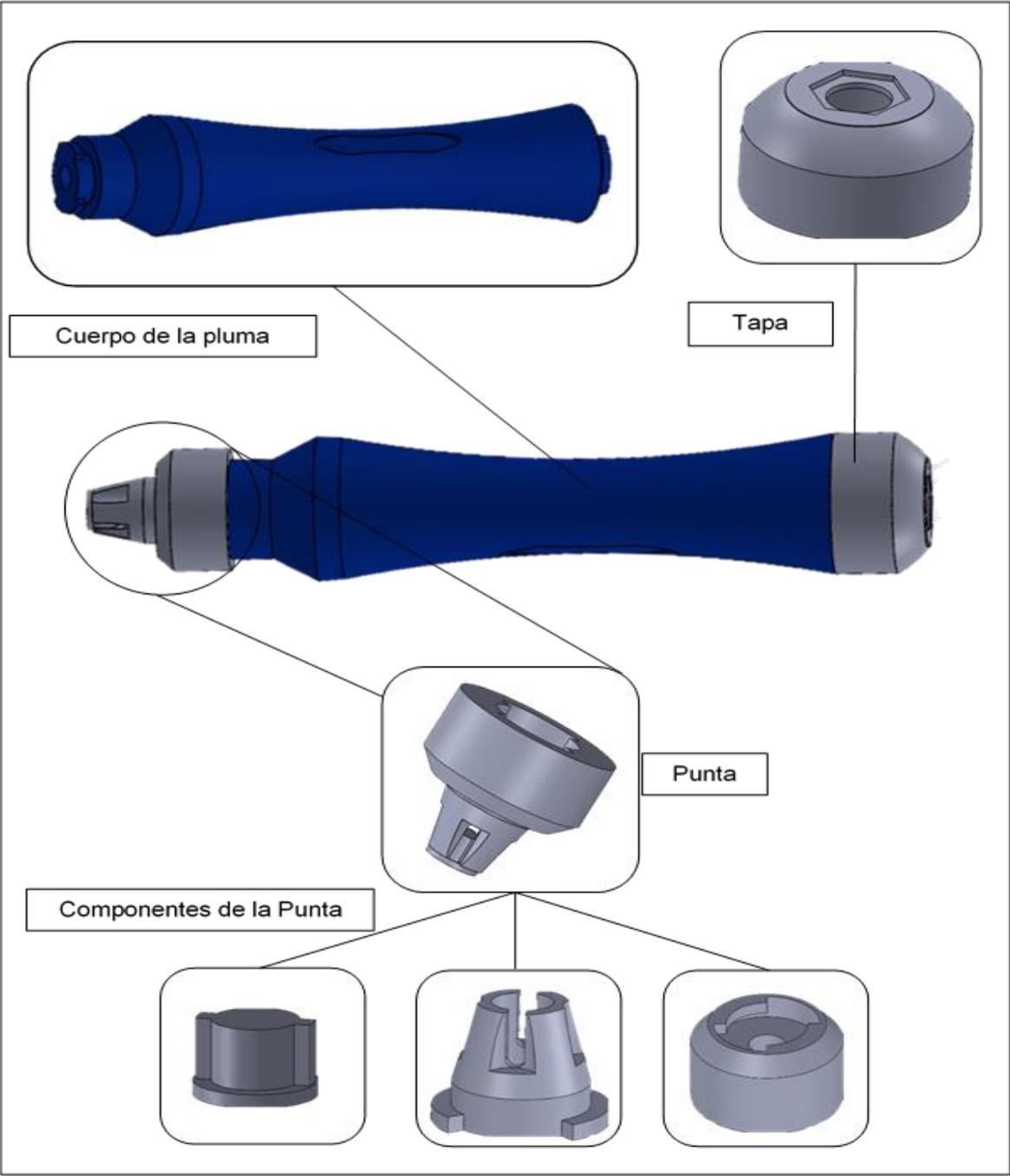


Figura 52. Componentes de pluma orificio E1

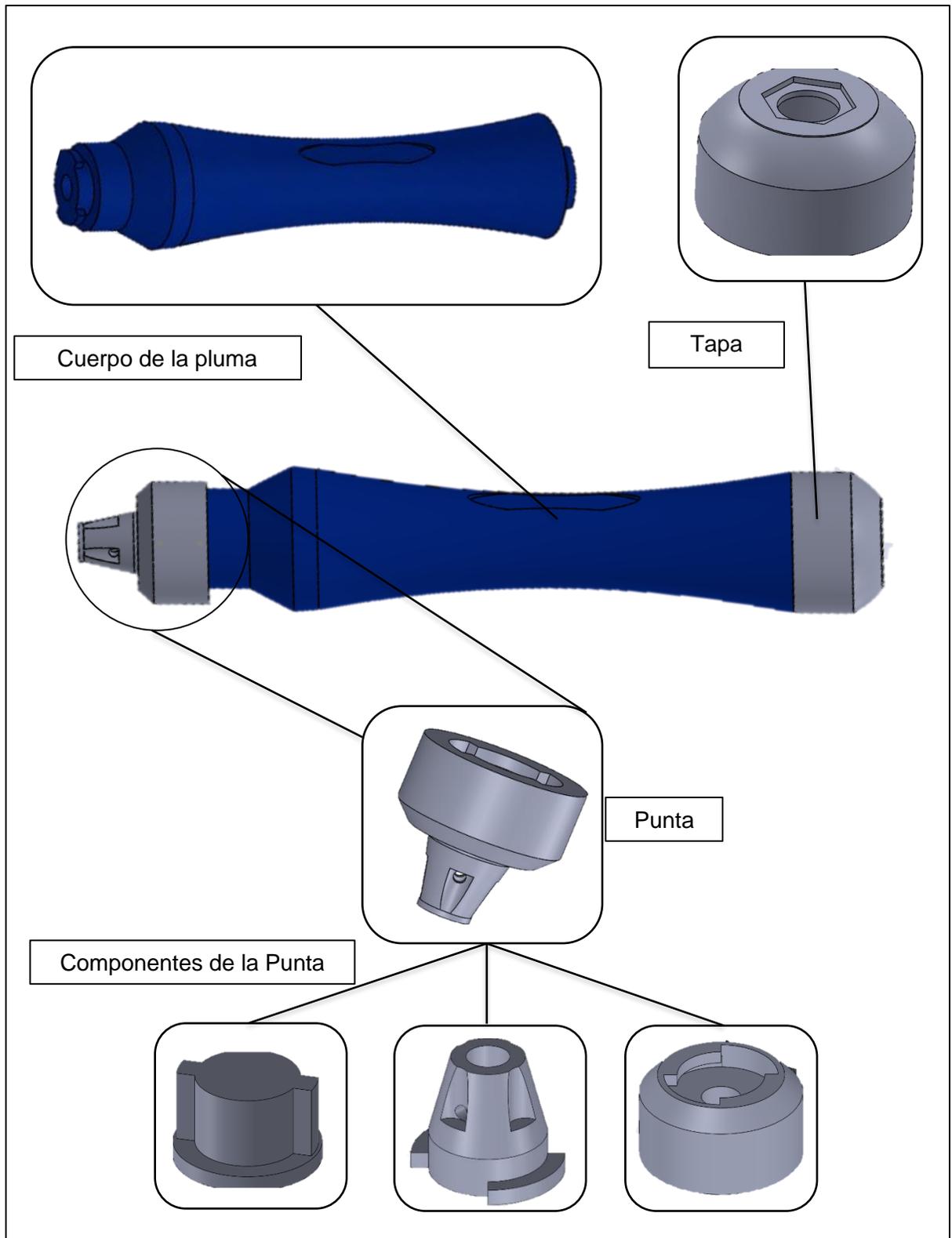


Figura 53. Componentes de pluma orificio E2



Figura 54. Componentes de pluma orificio E3

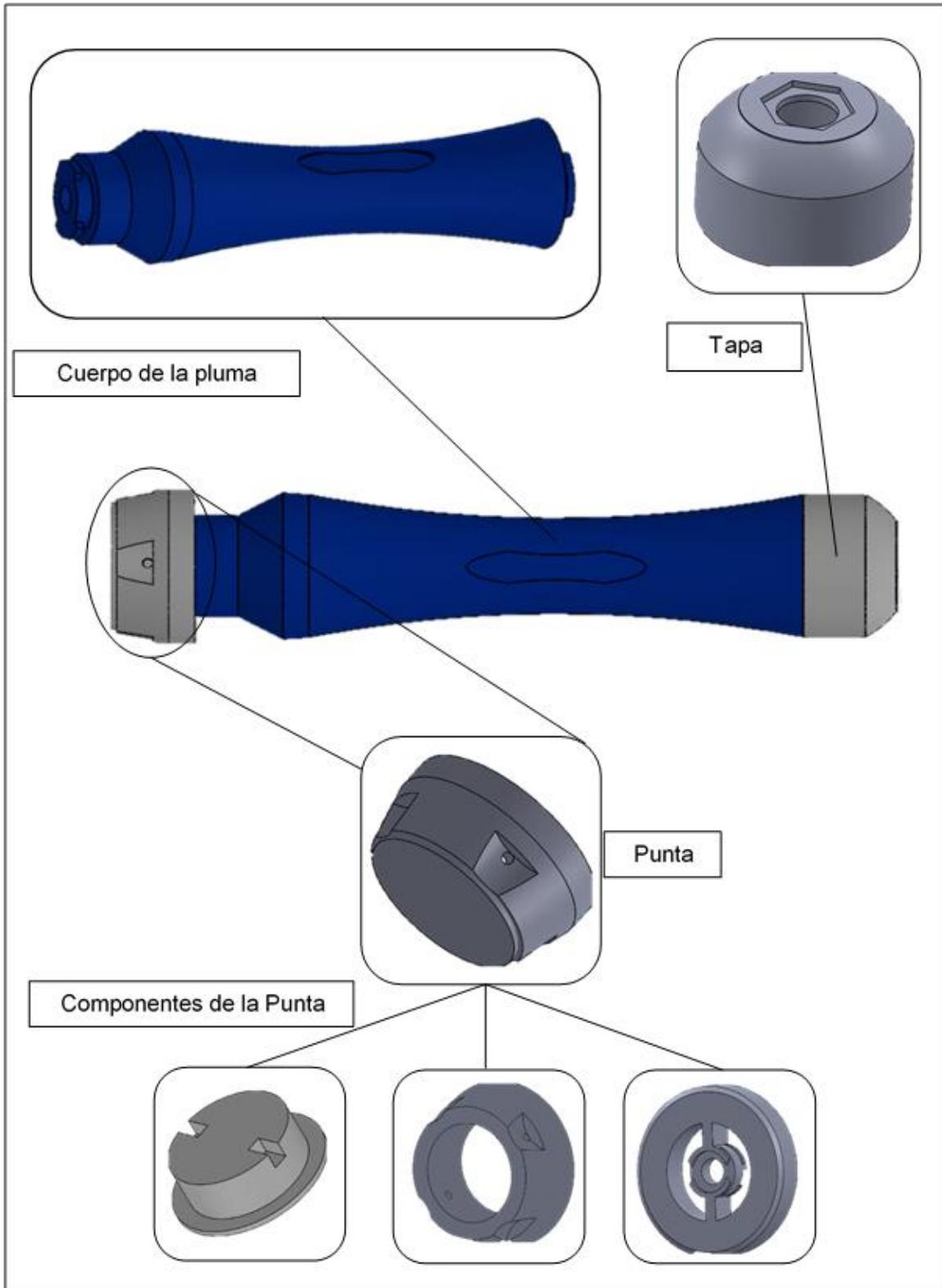


Figura 55. Componentes de pluma orificio E4

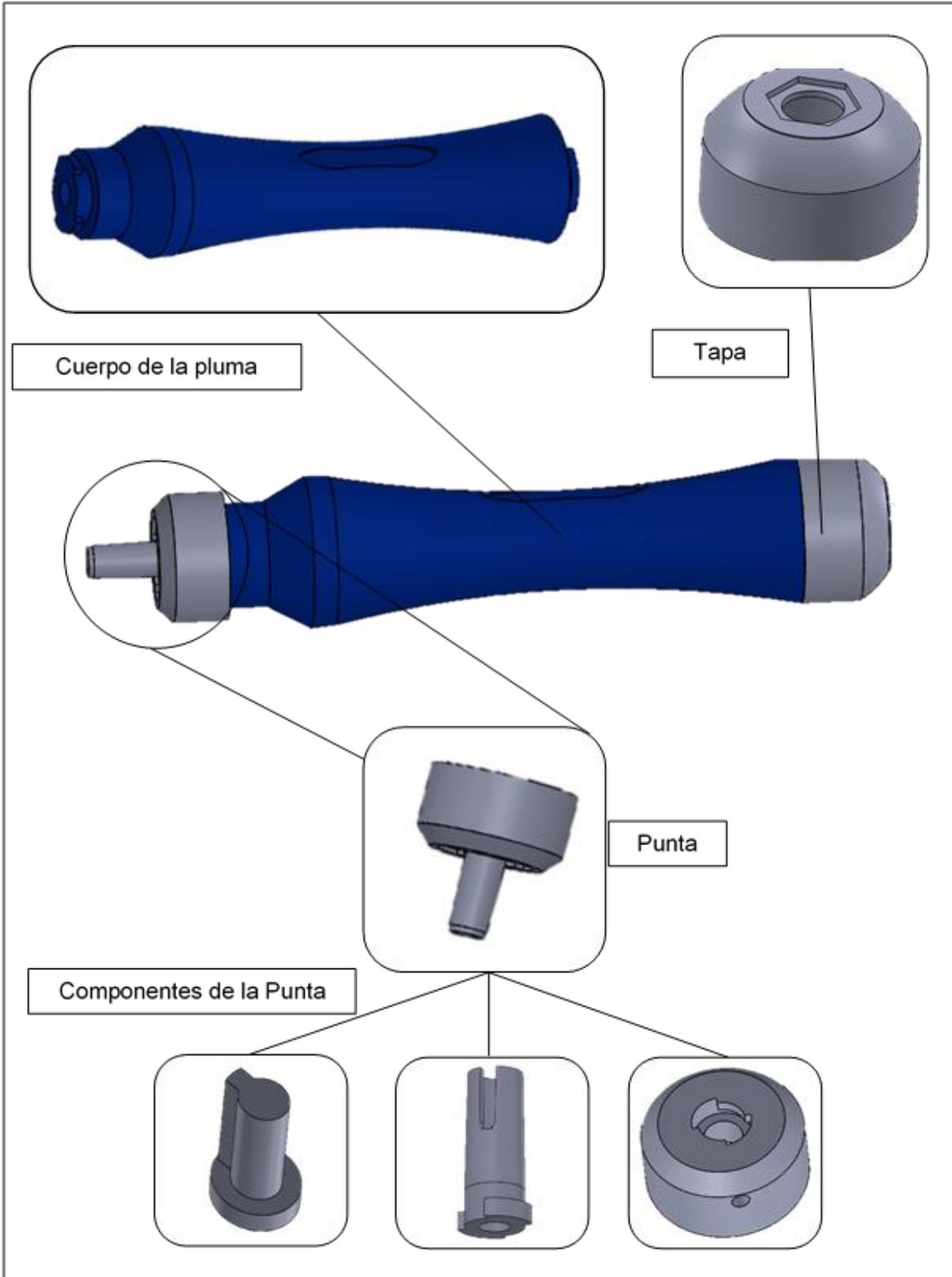


Figura 56. Componentes de pluma orificio E5

Para la elaboración de las pruebas Bías, se realizaron los siguientes moldes para físicamente realizar pruebas de repetibilidad a las puntas de las plumas. Cada uno de los anillos tiene variabilidad en su dimensión lo que nos ayudó a determinar la confiabilidad de nuestro diseño.

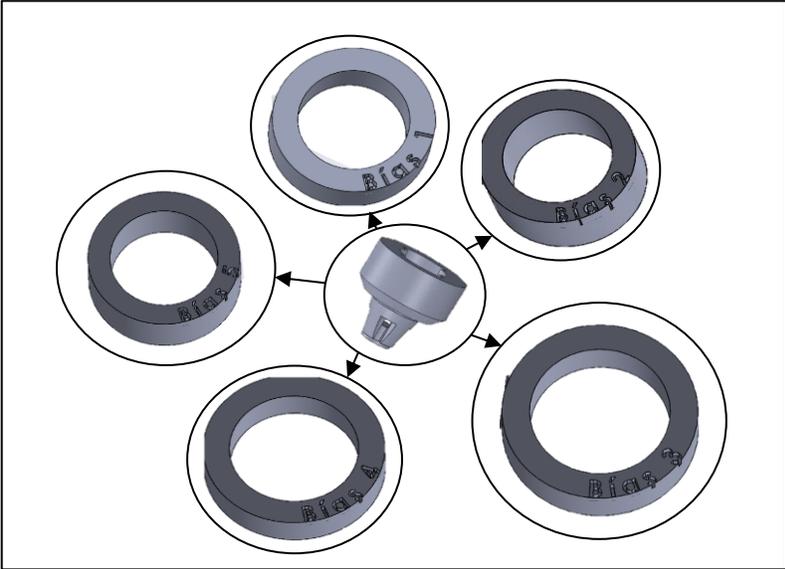


Figura 57. Componentes para pruebas de atributos pluma 1

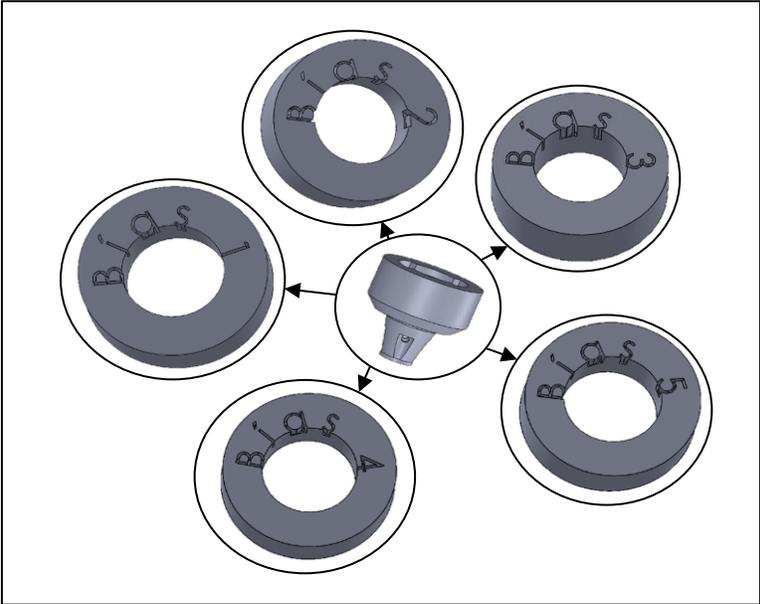


Figura 58. Componentes para pruebas de atributos pluma 2

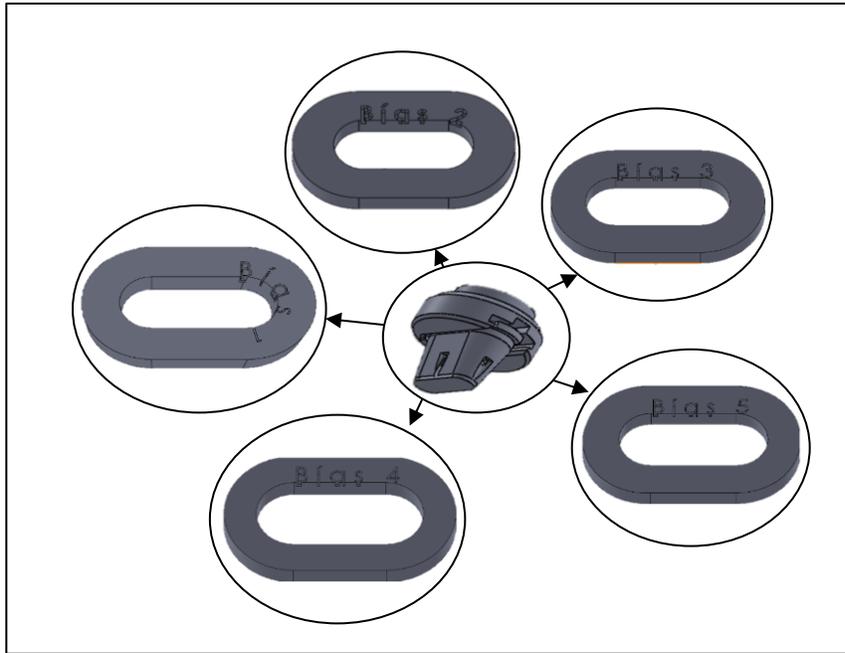


Figura 59. Componentes para pruebas de atributos pluma 3

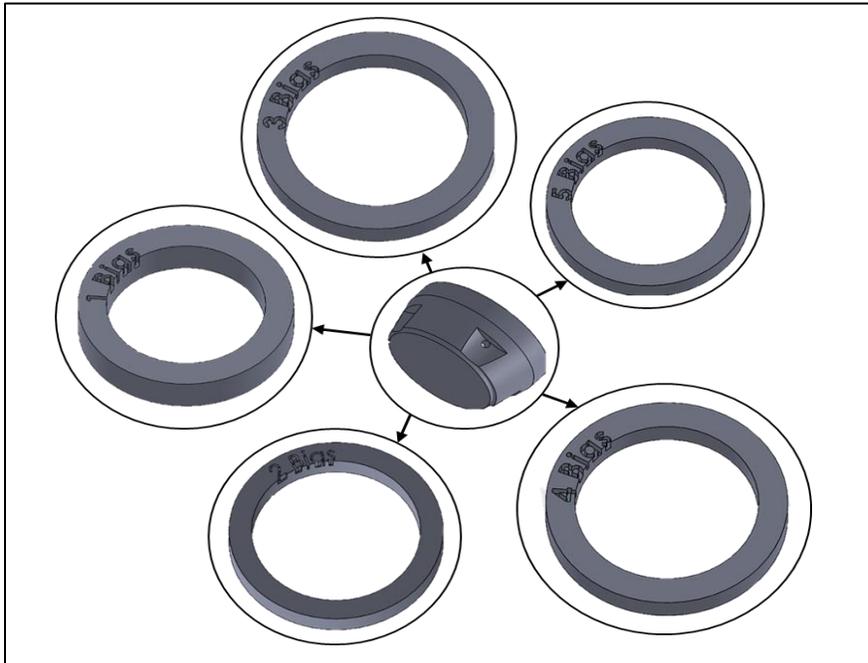


Figura 60. Componentes para pruebas de atributos pluma 4

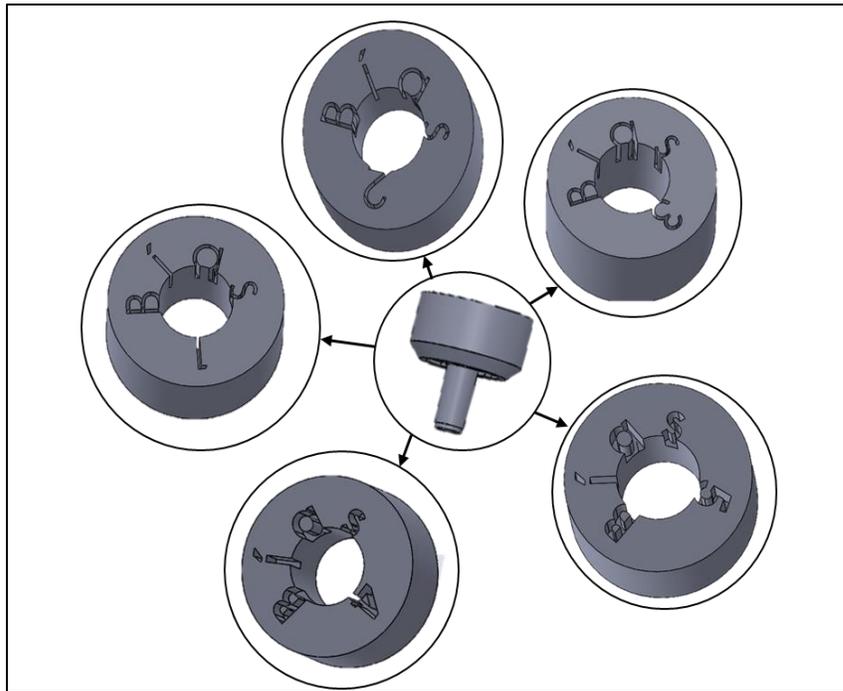


Figura 61. Componentes para pruebas de atributos pluma 5

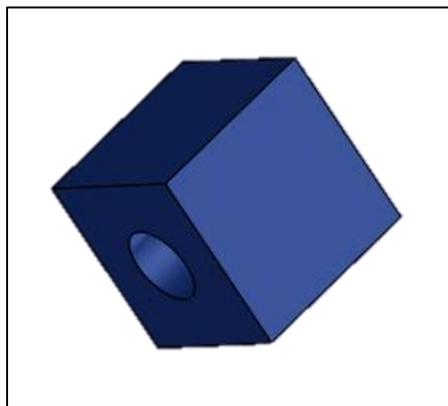


Figura 62. Soporte para apoyo en posicionamiento de pieza

Anexo 7. Componentes del diseño pensados en poderse manufacturar en aluminio.

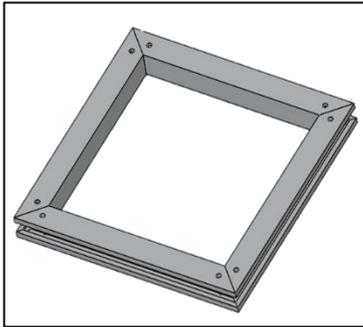


Figura 68. Corte y unión de perfiles base

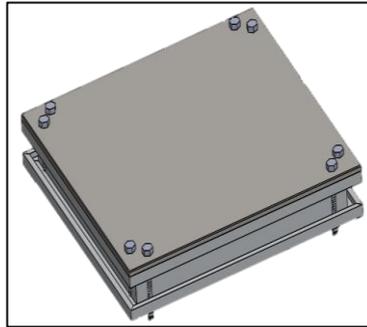


Figura 66. Ensamble de perfiles con placa de aluminio.

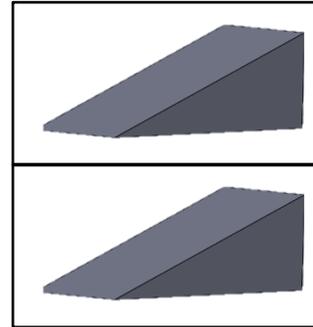


Figura 67. Bases de 90° para posicionar Sensores Ultrasónicos.

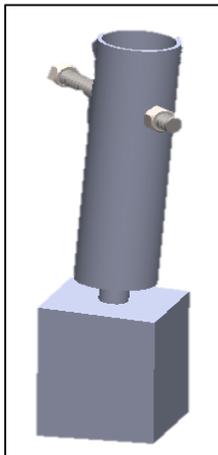


Figura 63. Base y soporte para sujetar medidor de caratula.

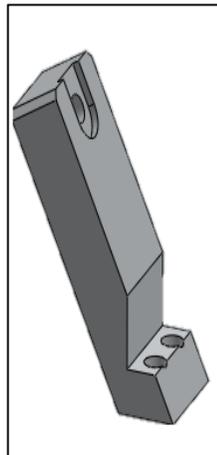


Figura 65. 1er Soporte para posicionamiento de pieza.

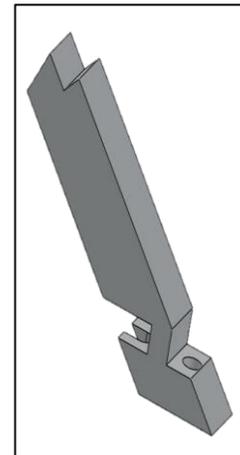


Figura 64. 2do Soporte para posicionamiento de pieza.

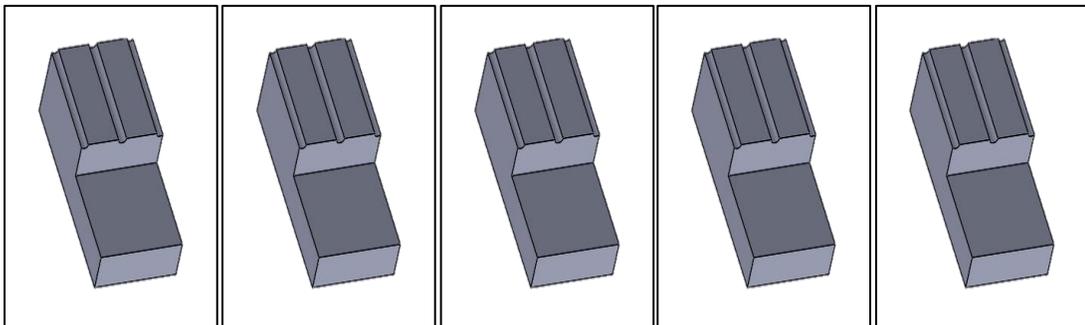


Figura 69. Bases para colocación de Micro Switchs

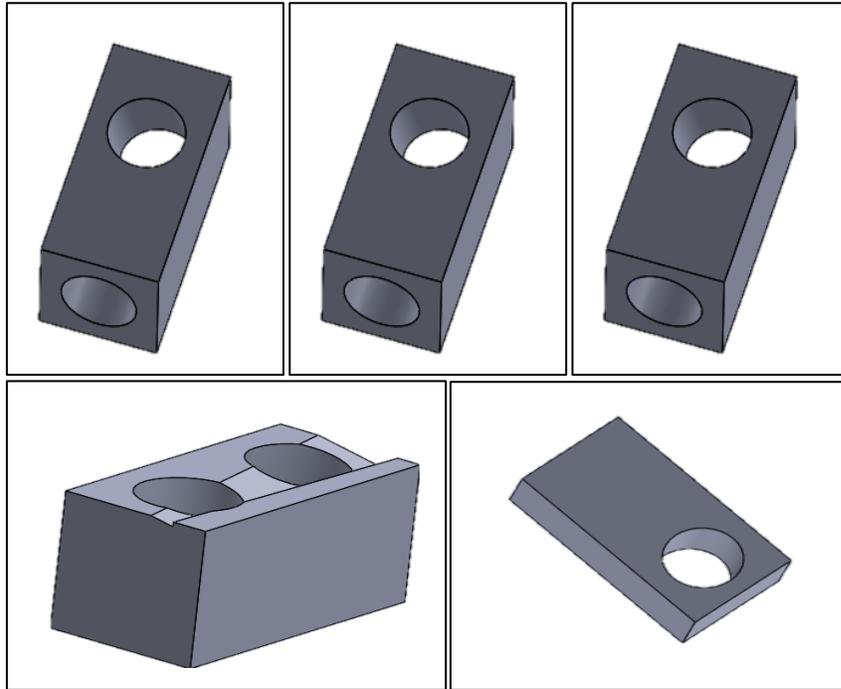


Figura 70. Conexiones para tornillos sin fin

Anexo 8. BOM de elementos electrónicos.

BOM (BILL OF MATERIALS)				
MATERIALES	ESPECIFICACIONES	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
Jack desnudo circuito abierto mono	6.3mm	\$ 9.00	6	\$ 54.00
Plug metálico mono	6.3mm	\$ 15.99	1	\$ 15.99
Resistencia de carbón	1/2 Watt 5% tole	\$ 4.98	20	\$ 99.60
Transistor de pequeña señal	NPN 45VCEO	\$ 9.99	2	\$ 19.98
Perfil de aluminio	2m	\$ 40.00	2	\$ 80.00
Tuercas	Mn x 1.	\$ 2.00	2	\$ 4.00
Tornillos		\$ 1.00	2	\$ 2.00
Lamina	40 X 40cm - Prof. 5 mm	\$ 73.00	1	\$ 73.00
Led económico rojo claro	5mm	\$ 4.00	5	\$ 20.01
Cable plug	6.3mm x 7m	\$ 150.00	1	\$ 150.00
Juego de 80 cables	Largo: 15cm	\$ 33.00	2	\$ 66.00
Tubo de soldadura alea	20grs-60/40 1mm	\$ 19.50	2	\$ 38.99
Pasta para soldar	25grs	\$ 19.00	1	\$ 19.00
Sensor ultrasónico para Arduino y microc		\$ 66.00	2	\$ 132.00
Placa fenólica para Arduino	10.7x14 cm	\$ 99.00	1	\$ 99.00
led ultrabrillante de color naranja	5mm	\$ 5.99	1	\$ 5.99
Led transparente azul ultra brillante	5mm	\$ 13.00	1	\$ 13.00
Micro switch con placa de lamina	125vc	\$ 25.00	6	\$ 149.98
Mini tablilla de pruebas de 170 puntos	5 x 4 cm	\$ 19.00	1	\$ 19.00
Pantalla LCD	2x 16	\$ 73.99	3	\$ 221.97
Reloj tiempo real para Arduino		\$ 58.99	1	\$ 58.99
Filamento ABS		\$ 300.00	1	\$ 300.00
Machuelo	1/4	\$ 58.00	1	\$ 58.00
Varilla roscada	1/4	\$ 25.00	1	\$ 25.00
BUS I2C		\$ 30.00	3	\$ 90.00
Protoboards	1 bloque & 2 tiras	\$ 140.00	2	\$ 280.00
Medidor de caratula	Analogo de 0.01 A 10 Mm	\$475	1	\$ 475.00
Tornillos	8mm h	\$ 6.00	8	\$ 48.00
Caiman chico	3AMP 27mm	\$ 4.00	3	\$ 12.00
Tornillos	8.8 mm	\$ 7.00	4	\$ 28.00
Tuercas	8.8mm	\$ 2.00	8	\$ 16.00
Acrilico	50x 70, 8mm de espesor	\$ 400.00	1	\$ 400.00
Pijas	8 x 3/4 punta broca	\$ 0.50	16	\$ 8.00
Perfil /escuadra		\$ 14.00	1	\$ 14.00
Bloque de aluminio	solido de 2kg	60	1	\$ 60.00
			TOTAL	\$ 3,156.50

Tabla 4. Tabla BOM de elementos electrónicos

Anexo 9. Código Arduino

En la Figura 62 podemos observar el comienzo del código de programación para el uso del Arduino con los componentes vinculados al circuito electrónico. Este código permite conocer la distancia entre un sensor ultrasónico y un objeto, en este caso la pieza master, para esto se utilizaron dos sensores ultrasónicos para ser colocados en dos lados diferentes con el fin de saber si hay algún objeto cerca en la posición de la pieza, sin embargo, se pueden agregar más sensores ultrasónicos y seguir los mismos pasos dos asegúrese de que está obteniendo la información deseada, otra función que se encuentra es la de indicar go-nogo, es decir si “pasa” o “no pasa” la cabidad a medir con ayuda de las plumas externas las cuales se declaran mediante los LEDs, al ser “No pasa” cómo ejemplo podemos observar la siguiente figura/anexo X

AL iniciar se definen los pines a utilizar para el primer sensor ultrasonico, tal como se muestra en las líneas 18,19, 25 y 26 de la siguiente figura, de la misma manera se definen el resto de los pines que requiramos definir y se declaran los LEDs,

```
1  /*-----
2  This code allows you to know the distance between an Ultrasonic
3  sensor and an object
4  I used two Ultrasonic sensors so you can place them in two
5  different sides to know if there is any object near to your Robot
6  |
7  You can add more Ultrasonic sensors and follow the same steps two
8  be sure that you are getting the desired information
9  |
10 -----*/
11 //Start :
12 //define the pins that we will use for the first ultrasonic sensor
13 //-----
14
15 #include <SPI.h>
16 #include <SD.h>
17 #include <Wire.h>
18 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
19 #include <virtuabotixRTC.h>
20
21 File archivod;
22 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7, 3, POSITIVE);
23
24 #define trigPin1 9 //pin number
25 #define echoPin1 8 // we'll use
26 this pin to read the signal from the first sensor
27 #define LED_first_ping 22 // I/O
28 digital or analogue ( we will use pin 22 to command an LED
29 (on/off))
30 //-----
31
32 //define the pins that we will use for the second ultrasonic
33 sensor
34 //-----
35
36 #define trigPin2 10
37 #define echoPin2 11
38 #define LED_second_ping 24
39 //-----
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
```

Figura 71. Declaración de Pines

Posteriormente continuamos declarando los tipos de datos y las variables que serán de utilidad para relacionar las en el código las funciones que ejecutara, esta acción se puede observar en la línea 32. Después de marcar cuales son variables como se

muestra en la Figura 63 en la línea 40 a 83 configuramos nuestros pines para la pantalla LCD, utilizaremos la transmisión de datos en serie para mostrar el valor de la distancia en el monitor en serie, comenzamos guardando las variables y el formato de datos para seg, min, hr, días, dia, mes y año; los cuales se mostraran en nuestra pantalla LCD, dando inicio como: “Iniciando modulo”, “ITESG”, “Abriendo SD” en caso de no encontrar la presencia de nuestra SD se mostrara “Error en SD”, “OFF/ON MODULO” e intentara nuevamente detectar la presencia del SD, será ciclado hasta que esté presente y nos mostrara el siguiente mensaje; “Se encontró SD” y automáticamente se limpia la pantalla.

```

30 //used variables
31 //-----
32 long duration, distance, UltraSensor1, UltraSensor2; //we'll use
these variable to store and generate data
33 int commandState;
34 char data;
35 String SerialData="";
36 //-----
37 virtuabotixRTC myRTC(4,3,2);
38 //Make the setup of your pins
39 //-----
40 void setup()
41 { // START SETUP FUNCTION
42 Serial.begin (9600); // we will use
the serial data transmission to display the distance value on the
serial monitor
43 SPI.begin();
44 //-----seg,min,hr,diaS,Dia,Mes,año|
45 //myRTC.setDS1302Time( 00, 11, 17, 1, 1, 10, 2018);|
46 lcd.begin(16,2);
47
48 lcd.noBacklight();
49 lcd.backlight();
50 lcd.setCursor(0,0);
51 lcd.print ("Iniciando Modulo ");|
52 lcd.setCursor(2,1);
53 lcd.print (" ITESG ");|
54 delay(1000);
55 lcd.backlight();
56 lcd.clear ();
57 lcd.print (F("Abriendo SD")); // apertura SD|
58 delay(700);
59
60 if (!SD.begin(53)) // verificar la presencia de seguridad digital
61 {
62 Serial.println (F ("Error en SD"));|
63 lcd.setCursor(0,1);
64 lcd.print (F ("Error en SD"));|
65 delay(1000);
66 Serial.println ("Intro SD +");|
67 Serial.println ("OFF/ON Modulo");|
68 lcd.clear ();
69 lcd.setCursor(0,0);
70 lcd.print ("Intro SD +");
71 lcd.setCursor(0,1);
72 lcd.print ("OFF/ON Modulo");
73 delay(3000);
74 return;
75 }
76 else
77 {
78 Serial.println (F("Se encontro SD"));
79 lcd.setCursor(0,1);
80 lcd.print (F("Se encontro SD"));
81 delay(700);
82 lcd.clear ();
83 }
84

```

Linea 80, Columna 33 — 8 selecciones — 633 líneas INS UTF-8 Text Espacios: 4

Figura 72. Declaración de variables y pines para pantalla LCD.

Una vez que se acepta la presencia de la SD, se expresa a partir de la línea 85 a la 157 la función de los 2 sensores ultrasónicos que conforman el circuito electrónico, en estas líneas como podemos observar en la Figura 64 se transmite que al sensor

al detectar la presencia de la pieza en un rango especificado, menor de 10 cm se activan / encienden 2 leds, en el caso de este fixture, se programo para que al detectar las pestañas A1 y A2 se activaran 2, si la pieza esta fuera de la distancia especiada, es decir, la pestaña cuenta con otro ángulo o altura o al quitar la pieza se desactivan los leds. Posteriormente al final del código existe otra declaración acerca de la distancia de lectura de los sensores ultrasónicos.

```

85 // setup pins first sensor
86 pinMode(trigPin1, OUTPUT); // from where we
will transmit the ultrasonic wave
87 pinMode(echoPin1, INPUT); //from where we
will read the reflected wave
88 pinMode(LED_first_ping, OUTPUT); // from where we
will control the LED
89
90 //setup pins second sensor
91 pinMode(trigPin2, OUTPUT);
92 pinMode(echoPin2, INPUT);
93 pinMode(LED_second_ping, OUTPUT);
94
95
96 //inialize LED status
97 digitalWrite(LED_first_ping,LOW);
98 digitalWrite(LED_second_ping,LOW);
99 }// END SETUP FUNCTION
100
101 //write the code in the loop function
102 void loop()
103 {
104 myRTC.updateTime();
105 // START THE LOOP FUNCTION
106 SonarSensor(trigPin1, echoPin1); // look bellow to
find the definition of the SonarSensor function
107 UltraSensor1 = distance; // store the
distance in the first variable
108 SonarSensor(trigPin2,echoPin2); // call the
SonarSensor function again with the second sensor pins
109 UltraSensor2 = distance; // store the new
distance in the second variable
110 commandState = analogRead(A1);
111
112 while(Serial.available())
113 {
114 delay(50);
115 data=Serial.read();
116 SerialData+=data;
117 }
118
119 if(SerialData=="display distance")
120 {
121 // display the distances on the serial monitor for the first
sensor
122 //-----
123 Serial.print("distance measured by the first sensor: ");
124 Serial.print(UltraSensor1);
125 Serial.println(" cm");
126 //-----
127
128 //display the distance on the serial monitor for the second sensor
129 //-----
130 Serial.print("distance measured by the second sensor: ");
131 Serial.print(UltraSensor2);
132 Serial.println(" cm");
133 Serial.println("-----");
134 //-----
135 Serial.println(commandState);
136 }
137
138 SerialData="";
139 // make condition to control the LEDs
140 if(UltraSensor1 <=4)// if distance is less than 10 Cm turn the LED
ON
141 {
142 digitalWrite(LED_first_ping,HIGH);
143 }
144 else // else turn the LED OFF
145 {
146 digitalWrite(LED_first_ping,LOW);
147 }
148
149 // do the same thing for second sensor
150 if(UltraSensor2 <=10)
151 {
152 digitalWrite(LED_second_ping,HIGH);
153 }
154 else
155 {
156 digitalWrite(LED_second_ping,LOW);
157 }
158

```

Figura 73. Transmisión de datos para función de sensores ultrasónicos.

Partiendo de la línea 159 del código hasta la 585 de forma general se especifican las acciones y la información que se mostrara en la pantalla LCD para cada una de las seis cavidades, se añade en la Figura 65 el código de estas líneas.

158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842	843	844	845	846	847	848	849	850	851	852	853	854	855	856	857	858	859	860	861	862	863	864	865	866	867	868	869	870	871	872	873	874	875	876	877	878	879	880	881	882	883	884	885	886	887	888	889	890	891	892	893	894	895	896	897	898	899	900	901	902	903	904	905	906	907	908	909	910	911	912	913	914	915	916	917	918	919	920	921	922	923	924	925	926	927	928	929	930	931	932	933	934	935	936	937	938	939	940	941	942	943	944	945	946	947	948	949	950	951	952	953	954	955	956	957	958	959	960	961	962	963	964	965	966	967	968	969	970	971	972	973	974	975	976	977	978	979	980	981	982	983	984	985	986	987	988	989	990	991	992	993	994	995	996	997	998	999	1000
Linea 150, Columna 1 – 634 líneas	INS	Linea 218, Columna 18 – 634 líneas	INS	Linea 278, Columna 19 – 634 líneas	INS	Linea 338, Columna 32 – 634 líneas	INS	Linea 578, Columna 42 – 634 líneas	INS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

Figura 74. Declaración de acciones para LEDs y Switch de las 6 cavidades.

Para explicar esta parte de las cavidades en la Figura 66 podemos ver el código para la cavidad 1 de la línea 158 a la 227, resaltando que estos mismos caracteres se aplica para las 5 cavidades restantes, por lo que el código continua para cada una de las cavidades necesarias. Para iniciar tenemos declarada la operación para el LED conectado a esta cavidad y la acción al switch posicionado físicamente en el fixture, es decir, si el dimensionamiento de la cavidad es mayor al diámetro estándar la cavidad “No pasa” para esto, nos apoyamos de la pluma electrónica que se fabricó de PLC para cada cavidad, cada una de las plumas de PLC tienen una punta acorde a la medida marcada por el cliente con una tolerancia ± 0.10 ya que esta actúa sobre los micro switch si el orificio es mayor ejerciendo presión que lo activa y genera que en la pantalla LCD muestre “Guardando Error” lo que hará es accionar el LED y posteriormente recolectar y almacenar que la “cavidad 1 no pasa” siendo añadido con el reloj de tiempo real que se ha añadido a la placa fenólica y programada en el Arduino lo cual en conjunto con la fecha (DD/MM/AAAA) y con la hora (hh:mm:ss) y lo archivara en la tarjeta SD, cabe mencionar que esta acción con la SD se realizara con todas las cavidades cuando no pasen, con la información recopilada de errores, el usuario puede generar un informe detallado.

Si el archivo no se abre la pantalla LCD imprimirá “Error en archivo”, y pedirá la introducción de SD. El módulo dará un tiempo de 200Ms y se volverá a accionar abriendo el archivo “hist.txt” si el archivo abre y es leído se imprimirá, “Guardado en historial”, en caso contrario volverá a imprimir “Error al abrir test.txt”, repitiendo la espera de 200Ms.

En caso contrario que la cavidad este en la medida estándar o dentro de la tolerancia (± 0.10) del dimensionamiento la pluma de LCD al contar con 2 pines de cobre en la Figura 67 podemos visualizar el funcionamiento de la pluma y el circuito que tendrá contacto con la pieza a lo que generara que encienda el LED.

```

158
159 if(commandState > 27 && commandState <30){
160 Serial.println("No pasa Cavidad 1");
161 archivod = SD.open("hist.txt", FILE_WRITE);
162 if (archivosd) {
163
164 Serial.print("Guardando Error");
165 Serial.println(" Espere ");
166 lcd.setCursor(0,0);
167 lcd.print ("Guardando Error");
168 lcd.setCursor(0,1);
169 lcd.print(myRTC.dayofmonth);
170 lcd.print("/");
171 lcd.print(myRTC.month);
172 lcd.print("/");
173 lcd.print(myRTC.year);
174 lcd.print(",");
175 lcd.print(myRTC.hours);
176 lcd.print(":");
177 lcd.print(myRTC.minutes);
178 lcd.print(":");
179 lcd.print(myRTC.seconds);
180 delay (1500);
181 lcd.clear ();
182 lcd.setCursor(4,0);
183 lcd.print ("No pasa");
184 lcd.setCursor(3,1);
185 lcd.print ("Cavidad 1");
186 archivod.print("No pasa Cavidad 1");|
187 archivod.print(",");
188 archivod.print(myRTC.dayofmonth);|
189 archivod.print("/");
190 archivod.print(myRTC.month);|
191 archivod.print("/");
192 archivod.print(myRTC.year);|
193 archivod.print(",");
194 archivod.print(myRTC.hours);|
195 archivod.print(":");
196 archivod.print(myRTC.minutes);|
197 archivod.print(":");
198 archivod.println(myRTC.seconds);|
199 Serial.print(myRTC.hours);|
200 Serial.print(":");
201 Serial.print(myRTC.minutes);|
202 Serial.print(":");
203 Serial.println(myRTC.seconds);|
204 delay(1500);
205 lcd.clear ();
206 // close the file:
207 archivod.close();
208 } else {
209 // if the file didn't open, print an error:
210 Serial.println("Error en Archivo");
211 Serial.println("Intro SD 2");
212 Serial.println("OFF/ON Modulo");
213 delay (200);
214 }
215 archivod = SD.open("hist.txt");
216 if (archivosd) {
217 Serial.println("Guardado en Historial.txt");
218 delay (200);
219 while (archivosd.available()) {
220 Serial.write(archivosd.read());
221 }
222 archivod.close();
223 } else {
224 // if the file didn't open, print an error:
225 Serial.println("error opening test.txt");
226 delay (200);
227 }
228

```

L.164 a L.185 a Indicación de Impresión en Pantalla LCD, lo que mostrara al usuario que se guardara el error de la cavidad (1-6), también se podrá visualizar el DD/MM/AAAA y hh:mm:ss en que ha ocurrido el error.

Declaración de: Si "Cavidad 1" "NO PASA"
L.160 Acción a mostrar en pantalla LCD
L.162 Operación de almacenamiento en SD para registro de Error en cavidad.

L.186 a L.198 "Cavidad (1-6) NO PASA automáticamente se genera la apertura del registro en la SD del error de la cavidad (1-6), también se podrá visualizar el DD/MM/AAAA y hh:mm:ss en que ha ocurrido el error. Para que el usuario pueda tener un archivo de base de datos.

Si el archivo no se abre la pantalla LCD imprimirá "Error en archivo", y pedirá la introducción de SD. El módulo dará un tiempo de 200ms y se volverá a accionar abriendo el archivo "hist.txt" si el archivo abre y es leído se imprimirá, "Guardado en historial", en caso contrario volverá a imprimir "Error al abrir test.txt", repitiendo la espera de 200ms.

Línea 203, Columna 31 — 10 selecciones — 634 líneas

Figura 75.Desglose de declaración de acciones para LEDs y Switch de Cavidad 1.



Figura 76. Funcionamiento de la pluma de PLC con el circuito electrónico.

Para finalizar el código partiendo de la línea 586 a la 603 Figura 68 donde iniciamos/ finalizamos el código y el funcionamiento de los sensores ultrasónicos para generar y leer la onda ultrasónica con los pines, es declarada la duración y configuración en el nivel High o LOW para cerrar el sistema.

```

585
586 // SonarSensor function used to generate and read the ultrasonic wave
587 void SonarSensor(int trigPinSensor,int echoPinSensor)//it takes the trigPIN and the echoPIN
588 {
589 //START SonarSensor FUNCTION
590 //generate the ultrasonic wave
591 //-----
592 digitalWrite(trigPinSensor, LOW);// put trigpin LOW
593 delayMicroseconds(2);// wait 2 microseconds
594 digitalWrite(trigPinSensor, HIGH);// switch trigpin HIGH
595 delayMicroseconds(10); // wait 10 microseconds
596 digitalWrite(trigPinSensor, LOW);// turn it LOW again
597 //-----
598
599 //read the distance
600 //-----
601 duration = pulseIn(echoPinSensor, HIGH);//pulseIn funtion will return the time on how much
the configured pin remain the level HIGH or LOW; in this case it will return how much time
echoPinSensor stay HIGH
602 distance= (duration/2) / 29.1; // first we have to divide the duration by two
603 }// END SonarSensor FUNCTION
604
605 /*****----- END PROGRAM -----*/

```

Línea 605, Columna 118 — 634 líneas INS UTF-8 Text Espacios: 4

Figura 77. Finalización del código y de sensores ultrasónicos.

Anexo 10. AMEF de Diseño

		ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA								Inicio:		Revisiones:				
		<input type="checkbox"/> AMEF DE PROCESO <input checked="" type="checkbox"/> AMEF DE DISEÑO <input type="checkbox"/> AMEF DE SISTEMA		Terminación:		RESPONSABLE:		DEPARTAMENTO:								
Producto:	Refuerzo 5ta puerta Equinox		Proceso		Elaboración de pieza refuerzo de 5ta puerta			Hoja 1 de 2		Delia Morán		Calidad				
* PIEZA / OPERACIÓN	* FUNCIÓN / OBJETIVO	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA	S	CAUSAS DE FALLA	O	CONTROLES ACTUALES	D	NPR	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLES	ACCIONES IMPLANTADAS	VALORACIÓN			NPR
													S	O	D	
Cuerpo del refuerzo	Condiciones estéticas y posicionamiento en carrocería	Fractura	Que quede fuera de posición en la carrocería de la puerta	10	Inconsistencia del material	5	Revisión de propiedades del material / Inspección Visual	1	50	Revisión del embarque	Encargado de embarque	Inspección Visual	10	1	4	40
		Mallformación (defectos de solidificación)	Que quede fuera de posición en la carrocería de la puerta	10	Golpe o inconsistencia del material	4	Revisión de propiedades del material / Inspección Visual	1	40	Diseño de un instrumento de medición	Encargado de embarque	Inspección Visual	10	1	3	30
		Tamaño de la pieza fuera de especificación	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	10	Error en el diseño / Molde / Maquinado	5	Inspección Visual	3	150	Revisión del embarque	Encargado de embarque	Inspección Visual	10	1	2	20
		Dímetros fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Mal maquinado	6	Inspección Visual	4	240	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	4	40
		Cunus y barridos fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Molde	8	Inspección Visual	2	160	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	4	40
		Ángulos incorrectos	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Molde	8	Inspección Visual	1	80	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	2	20
Pestaña A1	Mantener sujeto el refuerzo a carrocería	Fractura	Que quede fuera de posición en la carrocería de la puerta	10	Inconsistencia del material	2	Revisión de propiedades del material / Inspección Visual	1	20	Revisión del embarque	Encargado de embarque	Inspección Visual	10	1	4	40
		Mallformación (defectos de solidificación)	Que quede fuera de posición en la carrocería de la puerta	9	Golpe o inconsistencia del material	3	Inspección Visual	2	54	Diseño de un instrumento de medición	Encargado de embarque	Inspección Visual	9	1	2	18
		Dimensiones fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Mal maquinado	8	Inspección Visual	1	80	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	1	10
		Cunus y ángulo fuera de especificación.	Dificultad para ensamblar	6	Error en el diseño / Molde	5	Inspección Visual	3	90	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	6	1	1	6
Pestaña A2	Mantener sujeto el refuerzo a carrocería	Fractura	Que quede fuera de posición en la carrocería de la puerta	10	Inconsistencia del material	6	Revisión de propiedades del material / Inspección Visual	3	180	Revisión del embarque	Encargado de embarque	Inspección Visual	10	1	2	20
		Mallformación (defectos de solidificación)	Que quede fuera de posición en la carrocería de la puerta	9	Golpe o inconsistencia del material / defectos de solidificación	5	Revisión de propiedades del material / Inspección Visual	1	45	Diseño de un instrumento de medición	Encargado de embarque	Inspección Visual	9	1	3	27
		Dimensiones fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Mal maquinado	7	Inspección Visual	1	70	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	2	20
		Cunus y ángulo fuera de especificación.	Dificultad para ensamblar	6	Error en el diseño / Molde	1	Inspección Visual	1	6	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	6	1	3	18
Pestaña A3	Mantener sujeto el refuerzo a carrocería	Fractura	Que quede fuera de posición en la carrocería de la puerta	10	Inconsistencia del material	1	Revisión de propiedades del material / Inspección Visual	2	20	Revisión del embarque	Encargado de embarque	Inspección Visual	10	1	1	10
		Mallformación (defectos de solidificación)	Que quede fuera de posición en la carrocería de la puerta	9	Golpe o inconsistencia del material	3	Revisión de propiedades del material / Inspección Visual	3	81	Revisión del embarque	Encargado de embarque	Inspección Visual	9	1	2	18
		Dimensiones fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Mal maquinado	3	Inspección Visual	4	120	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	4	40
		Cunus y ángulo fuera de especificación.	Dificultad para ensamblar	6	Error en el diseño / Molde	1	Inspección Visual	4	24	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	6	1	2	12
		Rugosidad en pestaña (sin planicidad)	No hay encuadre en la carrocería al ser colocada al borde de la ventanilla	3	inconsistencia del material	4	Inspección Visual	2	24	Revisión del embarque / Inspección Visual	Encargado de embarque	Inspección Visual	3	1	1	3

Figura 78. AMEF del diseño del F&G. Parte 1.

		ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA								Inicio:		Revisiones:		1		
		<input type="checkbox"/> AMEF DE PROCESO <input checked="" type="checkbox"/> AMEF DE DISEÑO <input type="checkbox"/> AMEF DE SISTEMA								Terminación:		RESPONSABLE:		DEPARTAMENTO:		
Producto:		Refuerzo 5ta puerta Equinox		Proceso		Elaboración de pieza refuerzo de 5ta puerta				Hoja 2 de 2		Delia Morán		Calidad		
* PIEZA / OPERACIÓN	*FUNCIÓN/ OBJETIVO	MODO DE FALLA	EFECTOS DE FALLA	S	CAUSAS DE FALLA	O	CONTROLES ACTUALES	D	NPR	ACCIÓN CORRECTIVA	RESPONSABLES	ACCIONES IMPLANTADAS	VALORACIÓN			NPR
													S	O	D	
Cavidad 1 (E1 y E1.1)	Sujeción con carrocería mediante tornillo	Diámetro fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Mal maquinado	3	Inspección Visual	2	60	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	4	40
		Defectos internos en los orificios	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	3	Error en el diseño / Mal maquinado	8	Inspección Visual	3	72	Revisión del embarque / Inspección Visual	Operador en turno	Inspección Visual	3	1	1	3
		Cuerda para el tornillo barmida o mal hecha	Que no se pueda ensamblar	5	Error en el diseño / Molde	3	Inspección Visual	1	15	Revisión del embarque / Inspección Visual	Operador en turno	Inspección Visual	5	1	4	20
		Mala posición de la perforación de la cavidad	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	5	Mal maquinado	5	Inspección Visual	2	50	Diseño de un instrumento de medición	Operador en turno	Realizar medición de la especificación	5	1	4	20
Cavidad 2 (E2)	Sujeción con carrocería	Diámetro fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Mal maquinado	4	Inspección Visual	3	120	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	4	40
		Defectos internos en los orificios	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	3	Error en el diseño / Mal maquinado	8	Inspección Visual	1	24	Revisión del embarque / Inspección Visual	Operador en turno	Inspección Visual	3	1	2	6
		Mala posición de la perforación de la cavidad	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	5	Mal maquinado	6	Inspección Visual	4	120	Diseño de un instrumento de medición	Operador en turno	Realizar medición de la especificación	5	1	4	20
Cavidad 3 (E3)	Sujeción con carrocería	Diámetro fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Mal maquinado	7	Inspección Visual	2	140	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	3	30
		Defectos internos en los orificios	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	3	Mal maquinado	1	Inspección Visual	1	3	Revisión del embarque / Inspección Visual	Operador en turno	Inspección Visual	3	1	1	3
		Mala posición de la perforación de la cavidad	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	5	Mal maquinado	8	Inspección Visual	1	40	Diseño de un instrumento de medición	Operador en turno	Realizar medición de la especificación	5	1	1	5
Cavidad 4 (E4)	Sujeción con carrocería	Diámetro fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Mal maquinado	5	Inspección Visual	4	200	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	3	30
		Defectos internos en los orificios	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	3	Mal maquinado	3	Inspección Visual	1	9	Revisión del embarque / Inspección Visual	Operador en turno	Inspección Visual	3	1	4	12
		Cuerda para el tornillo barmida o mal hecha	Que no se pueda ensamblar	5	Error en el diseño / Molde	3	Inspección Visual	3	45	Revisión del embarque / Inspección Visual	Operador en turno	Inspección Visual	5	1	4	20
		Mala posición de la perforación de la cavidad	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	5	Mal maquinado	6	Inspección Visual	3	90	Diseño de un instrumento de medición	Operador en turno	Realizar medición de la especificación	5	1	1	5
Cavidad 5 (E5)	Sujeción con carrocería mediante tornillo	Diámetro fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Mal maquinado	5	Inspección Visual	4	200	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	1	10
		Defectos internos en los orificios	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	3	Mal maquinado	7	Inspección Visual	3	63	Revisión del embarque / Inspección Visual	Operador en turno	Inspección Visual	3	1	3	9
		Mala posición de la perforación de la cavidad	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	5	Mal maquinado	7	Inspección Visual	3	105	Diseño de un instrumento de medición	Operador en turno	Realizar medición de la especificación	5	1	4	20
Cavidad 6 (E6 Y E6.1)	Sujeción con carrocería	Diámetro fuera de especificación	Dificultad para ensamblar	10	Error en el diseño / Mal maquinado	4	Inspección Visual	4	160	Diseño de un instrumento de medición	Ing. De Calidad	Realizar medición de la especificación	10	1	1	10
		Defectos internos en los orificios	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	3	Mal maquinado	2	Inspección Visual	1	6	Revisión del embarque / Inspección Visual	Operador en turno	Inspección Visual	3	1	2	6
		Mala posición de la perforación de la cavidad	Que no cuadre con el espacio en la carrocería	5	Mal maquinado	3	Inspección Visual	1	15	Diseño de un instrumento de medición	Operador en turno	Realizar medición de la especificación	5	1	3	15

Figura 79. AMEF del diseño del F&G. Parte 2.

Anexo 11. Propósito del dispositivo, las recomendaciones realizadas, el método de uso para la evaluación.

Manual de operación

Con este manual se proporciona al cliente las pautas de operación e instrucciones en el uso del presente dispositivo de medición, por lo que se recomienda al usuario que lea detenidamente el manual y que siga las instrucciones generales.

Su lectura y entendimiento es obligatorio antes de hacer uso del dispositivo, ya que es indispensable conocer cada uno de los aspectos y componentes de este, así como la funcionalidad de cada parte y su forma operacional y lectora al ser puesto en función.

Condiciones y recomendaciones básicas de operación

1. Mantener el dispositivo estático a nivel con respecto al plano de la mesa de trabajo.
2. Contar con condiciones ambientales de 8° a 30°, si se tiene la necesidad de operarla fuera de estos márgenes debe consultar nuevas alternativas y opciones.
3. Mantener el dispositivo aislado en un área seca.
4. Verificar que el dispositivo está en óptimas condiciones antes de ejecutar acciones de inspección.
5. Verificar las conexiones del dispositivo y funcionalidad de los leds y los sensores
6. Manejar los componentes con mucho cuidado.
7. Contar con condiciones de luminosidad adecuadas.
8. Antes de ponerlo en funcionamiento, limpiar el área de trabajo, organizar los componentes o realizar el ajuste necesario.

9. Revisar que las partes móviles no se encuentren rotas, o agarrotadas, ni ninguna otra situación que pudiera afectar en la operación de la herramienta.
10. Contar con una base a la altura adecuada para la operación.
11. Se recomienda únicamente utilizar piezas de repuesto recomendadas o fabricadas por el fabricante en caso de detectar cualquier deficiencia, poner en conocimiento al fabricante.
12. Se aconseja que el equipo sea manejado por personas que hayan sido instruidas en su utilización.
13. Verificar que esté conectada la microSD.
14. Que los leds enciendan.
15. Que tenga corriente eléctrica.
16. Que se guarden los datos y no maque error.
17. Verificar que los sensores ultrasónicos funcionen.

Instrucciones de uso

- I. Colocar la pieza sobre el dispositivo de forma adecuada donde no se tenga que interferir con piezas sensibles.
- II. Insertar la pieza refuerzo en los elementos de fijación para la misma.
- III. Sujetar la pieza con los elementos de fijación (tornillos) y asegurar que se encuentre en la posición exacta para llevar a cabo la verificación con cada una de las plumas.
- IV. Al estar fija la pieza eliminando los grados de libertad, sujetar la pluma 1 y colocarlo en su respectiva perforación. Ver Figura 71 como ejemplo de uso.

NOTA: Observar con atención el LED de su respectiva perforación. Si la luz naranja se enciende, indica que tiene el diámetro correcto. Cuando el LED rojo se enciende, se refiere a que el diámetro de la perforación es más grande. Si el LED verde se mantiene encendido la perforación es correcta.

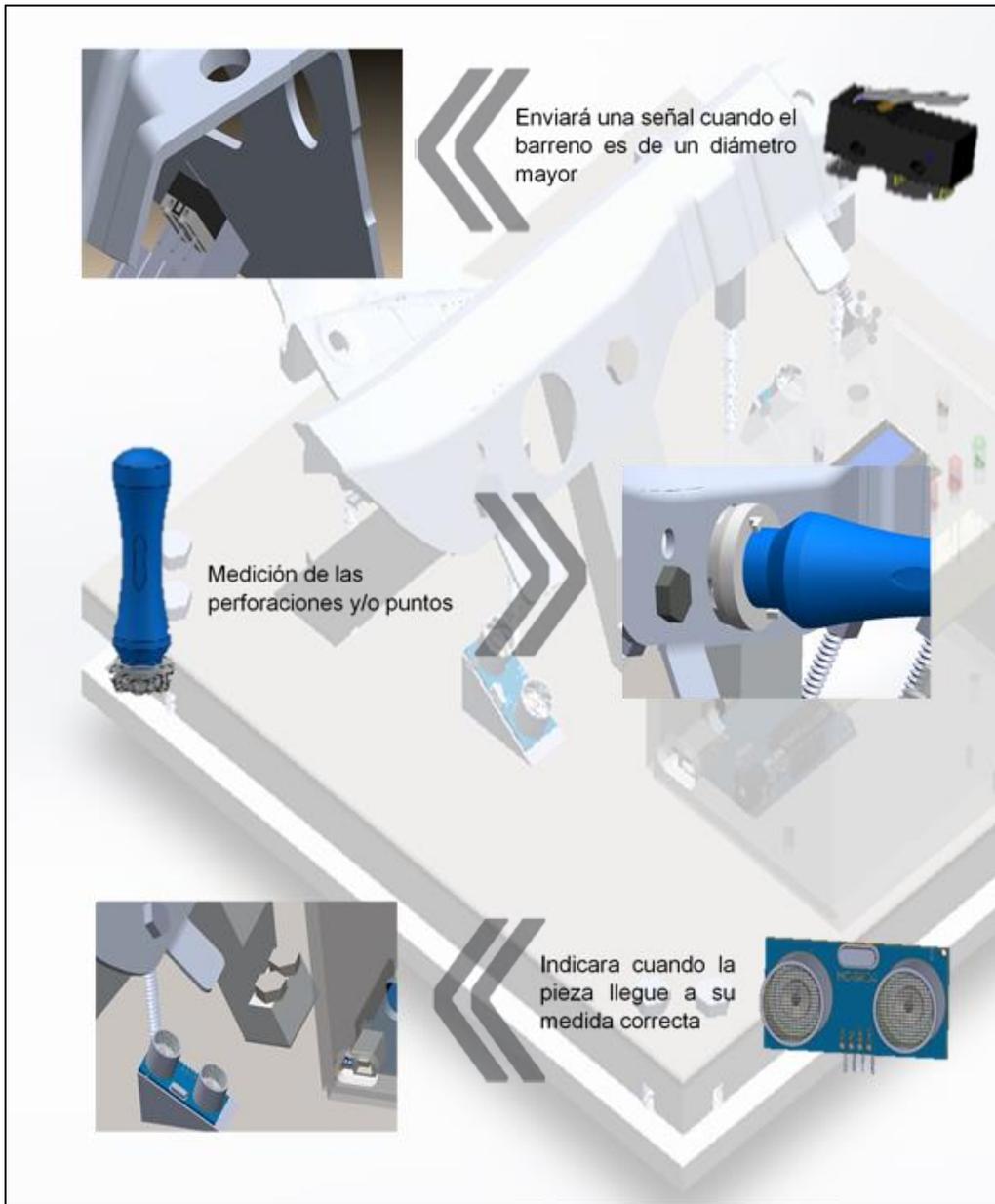


Figura 80. Ejemplo de uso de los componentes

- V. Al concluir con la pluma 1, continúe con la pluma 2 en su respectiva perforación. De igual manera observando con atención el LED correspondiente. Así mismo, continúe con cada una de las plumas.

- VI. Los LED's sobrantes, hacen referencia a las pestañas de la pieza. Cada una tiene un sensor de proximidad en la cual, indica su distancia correcta. Esto se hace notar cuando los LED's (color azul) se encienden, dando a entender que la distancia es exacta a lo establecido.
- VII. Desfijar la pieza
- VIII. Separar la pieza del dispositivo checking con cuidado, evitando que choque con las piezas sensibles de medición.

Anexo 12. Toma de decisiones basado en la medición.

Control de proceso

Para controlar y determinar las características de calidad del tipo pasa / no pasa (Go/NoGo) de acuerdo con la pieza máster se califica como conforme / no conforme, dependiendo de las especificaciones.

Las características definidas a evaluar de nuestras piezas son:

- Dimensión o diámetro
- Posicionamiento y ajuste adecuado en el gage
- Ángulo de puntos críticos

Para controlar estos requerimientos se llevó a cabo un estudio de Bías, los cuales fueron realizados con anillos, cada uno contaba con la medida exacta del orificio a evaluar en la pieza máster, mientras que el resto contenía variabilidad milimétrica.

Anexo 13. Programa de mantenimiento.

Manual de mantenimiento, lista de montaje y especificaciones.

Etiqueta	Tipo de parte	Propiedades
Componente4	Arduino Mega 2560 (Rev3)	Tipo Arduino MEGA 2560 (Rev3)
Componente5	Módulo de Tarjeta MicroSD	Variante variante 1; chip PG6SD
D2F1	Interruptor de límite de acción rápida Omron D2F-FL con nivel	palanca del actuador; clasificación de contacto de 1 amperio a 125 voltios, 0,5 amperios a 30 voltios; fuerza operativa 25 g; serie D2F; pin de soldadura de terminación de estilo; PCB de montaje
D2F2	Interruptor de límite de acción rápida Omron D2F-FL con nivel	palanca del actuador; clasificación de contacto de 1 amperio a 125 voltios, 0,5 amperios a 30 voltios; fuerza operativa 25 g; serie D2F; pin de soldadura de terminación de estilo; PCB de montaje
D2F3	Interruptor de límite de acción rápida Omron D2F-FL con nivel	palanca del actuador; clasificación de contacto de 1 amperio a 125 voltios, 0,5 amperios a 30 voltios; fuerza operativa 25 g; serie D2F; pin de soldadura de terminación de estilo; PCB de montaje
D2F4	Interruptor de límite de acción rápida Omron D2F-FL con nivel	palanca del actuador; clasificación de contacto de 1 amperio a 125 voltios, 0,5 amperios a 30 voltios; fuerza operativa 25 g; serie D2F; pin de soldadura de terminación de estilo; PCB de montaje
D2F5	Interruptor de límite de acción rápida Omron D2F-FL con nivel	palanca del actuador; clasificación de contacto de 1 amperio a 125 voltios, 0,5 amperios a 30 voltios; fuerza operativa 25 g; serie D2F; pin de soldadura de terminación de estilo; PCB de montaje
D2F6	Interruptor de límite de acción rápida Omron D2F-FL con nivel	palanca del actuador; clasificación de contacto de 1 amperio a 125 voltios, 0,5 amperios a 30 voltios; fuerza operativa 25 g; serie D2F; pin de soldadura de terminación de estilo; PCB de montaje
J1	Conector mono de 1/4 pulgada	Paquete de audio-jack-6.5mm-panel-mount; tamaño 6.3mm; Variante variante 1
LCD1	pantalla LCD	Alfileres 16; Tipo de personaje
LCM1602 IIC1	LCM1602 IIC	Paquete DIP (Dual Inline) [THT]; Etiqueta del chip LCM1602 IIC; Alfileres 22; Variante variante 2; Número de componente LCM1602 IIC
LED31	LED naranja (620nm)	pierna si paquete de 5 mm [THT]; Color Naranja (620nm)
LED32	LED azul (430nm)	pierna si paquete de 5 mm [THT]; Color Azul (430nm)
LED33	LED azul (430nm)	pierna si paquete de 5 mm [THT]; Color Azul (430nm)
LED34	LED verde (555nm)	pierna si paquete de 5 mm [THT]; Color Verde (555nm)
LED35	LED rojo (633 nm)	pierna si paquete de 5 mm [THT]; Color Rojo (633nm)
LED36	LED rojo (633 nm)	pierna si paquete de 5 mm [THT]; Color Rojo (633nm)
LED37	LED rojo (633 nm)	pierna si paquete de 5 mm [THT]; Color Rojo (633nm)
LED38	LED rojo (633 nm)	pierna si paquete de 5 mm [THT]; Color Rojo (633nm)
LED39	LED rojo (633 nm)	pierna si paquete de 5 mm [THT]; Color Rojo (633nm)
LED40	LED rojo (633 nm)	pierna si paquete de 5 mm [THT]; Color Rojo (633nm)
PCB2	RTC_DS1302_module	Variante var 1
R31	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 10\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400 mil; Resistencia 330 Ω
R32	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 10\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400 mil; Resistencia 330 Ω

Tabla 5. Especificaciones de componentes parte 1

Etiqueta	Tipo de parte	Propiedades
R33	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 10\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
R34	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 10\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
R35	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 10\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
R36	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 10\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
R37	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 10\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
R38	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 10\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
R39	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 10\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
R40	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 10\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
R41	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
R42	Resistencia 680 Ω	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 680 Ω
R43	Resistencia de 120 Ω	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 120 Ω
R44	Resistor de 22 Ω	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 22 Ω
R45	Resistencia 5.7 Ω	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 5.7 Ω
R46	Resistor de 100 Ω	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 100 Ω
R47	Resistencia de 180 Ω	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 180 Ω
R48	Resistencia de 120 Ω	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 120 Ω
R49	Resistor de 100 Ω	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 100 Ω
R50	Resistor 3.3istor	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 3.3 Ω
R51	Resistencia de 120 Ω	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 120 Ω
R52	Resistencia de 120 Ω	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 120 Ω
R53	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
R54	Resistencia 330istor	bandas 4; tolerancia $\pm 5\%$; paquete THT; espacio entre pinos 400mil; Resistencia 330 Ω
U3	IC	Paquete SIP (Single Inline) [THT]; espacio entre pinos 300mil; Alfileres 4; Etiqueta del chip IC; Tamaño del hoyo 1.0mm, 0.508mm; Variante variante 1
U4	IC	Paquete SIP (Single Inline) [THT]; espacio entre pinos 300mil; Alfileres 4; Etiqueta del chip IC; Tamaño del hoyo 1.0mm, 0.508mm; Variante variante 1

Tabla 6. Especificaciones de componentes parte 2

Programa de mantenimiento de la placa

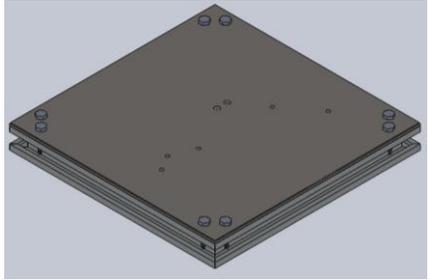
Plan de mantenimiento			Fecha:
Maquina: <i>Placa de acero inoxidable</i>			
Actividad	Frecuencia	Observaciones	
Reajuste de Tornillos de la base	Trimestral		
			Recomendaciones
Limpieza general de la Placa.	Diario	Colocar la placa sobre una superficie amplia para evitar alguna caída. Usar zapato de seguridad.	
Elaboro _____		Encargado _____	
Operador			

Figura 81. Plan de mantenimiento de la placa.

Herramientas de medición

En general el sistema consiste en pruebas go / no go esto se refieren a pruebas de aprobado/fallo usando dos respectivas condiciones límite o de frontera. La prueba se considera aprobada solo si la condición para aprobar es satisfecha y además la condición de fallo no se cumple. La prueba no da resultados intermedios del grado de conformidad o desviación de las condiciones límite, de ahí que sean consideradas pruebas pasa o no pasa. Esta prueba puede usarse para control mediante un sistema estadístico.

Para la medición se realizan 3 actividades diferentes desde una tarjeta principal programada por medio de un Arduino, el sistema de medición consiste en lo siguiente:

Pluma

La pluma se divide en 3 partes, el cono, mango y conexión.

Cono

El cono será el encargado de entrar dentro de la cavidad establecida. Éste será el que nos indique con claridad si la cavidad es correcta mediante un LED color naranja. La manera en cómo funciona es cuando los trozos de cobre que están en dos partes laterales del cono toquen parte de la pieza y de esta manera haciendo tierra. Sólo funciona si las dos partes en donde se encuentran los trozos de cobre lo tocan.



Figura 82. Ensamble de pieza

Plan de mantenimiento			Fecha:
Maquina: <i>Cono</i>			
Actividad	Frecuencia	Observaciones	
Verificación de conexiones.	Trimestral	En caso de que alguna conexión se encuentre dañada hacer un reemplazo.	
Revisión general del cableado, comprobar buen funcionamiento.	Trimestral	Revisar que los cables no se encuentren descubiertos para evitar que se peguen y causen una medición errónea y/o un corto circuito.	
Comprobación del buen funcionamiento de los trozos de cobre.	Diario	Recomendaciones	
Limpieza general del cono.	Diario	Es necesario observar que los trozos de cobre estén separados mínimo 1 mm y que los filamentos no sobrepasen la superficie del cono.	
Elaboro			
Operador _____		Encargado _____	

Figura 83. Plan de Mantenimiento del cono de la pluma.

Mango

Ésta es la pieza que une las otras dos partes de la pluma (cono y conexión), se denomina la pieza principal de la pluma. En su parte interior contiene los cables que están conectados en el cono y serán guiados hacia la conexión. Tiene una forma cilíndrica para que el operador tenga la comodidad de sujetar sin problema alguno y sin esfuerzo.

Plan de mantenimiento			Fecha:
Maquina: <i>Mango</i>			
Actividad	Frecuencia	Observaciones	
Reapriete de ensamble con el cono.	Trimestral	Solo hasta llegar a tope.	
Revisión general de material	Trimestral	Verificar que no existan fracturas de la pieza.	
			Recomendaciones
Limpieza general del mango.	Diario	Separar cuidadosamente el ensamble del cono con el mango, debido a que los cables suelen doblarse con la consecuencia de que se rompan.	
Elaboro			
Operador			Encargado

Figura 84. Plan de Mantenimiento del Mango de la pluma.

Conexión

La conexión es el encargado de mandar la señal mediante un cable Plug 6.3 en donde tendrá un conector hembra TS-Jack que está conectado con los cables que provienen del cono. Un conector macho TS-Jack será introducido en la hembra haciendo que mande la información hacia el circuito por medio del cable ya mencionado.

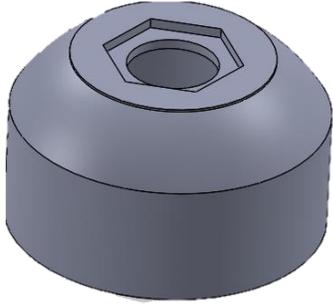
Plan de mantenimiento			Fecha:
Maquina: <i>Conexión</i>			
Actividad	Frecuencia	Observaciones	
Verificación de conexiones.	Trimestral	Verificar que no exista suciedad que perjudique.	
Revisión general del cableado, comprobar buen funcionamiento.	Trimestral	Realizar pruebas para verificar el funcionamiento.	
Verificación del reapriete en ensamble con el mango.	Diario	Recomendaciones	
Limpieza general de la conexión.	Diario	Separar cuidadosamente del mango al igual que ser apretado.	
Revisión general del cableado al conector hembra Jack.	Trimestral		
Elaboro			
Operador		Encargado	

Figura 85. Plan de Mantenimiento de Conexión de la pluma.

Micro Switch

El micro Switch, es la herramienta que enviara señales a la tarjeta principal cuando exista una pieza fuera de especificación. Esta herramienta estará sujeta de la placa base de la siguiente manera:

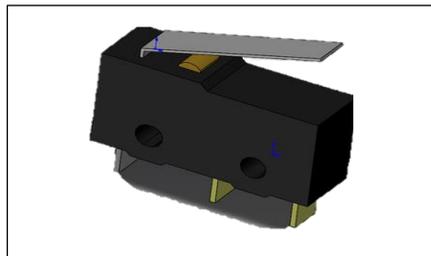


Figura . Micro switch

Calibración:

La calibración del Micro Switch se realiza mediante el movimiento del tornillo sin fin en el eje z, ya que solo en este eje es donde existe movimiento. Para realizar la calibración se debe de seguir las siguientes instrucciones:

- Afloje las tuercas que se encuentran por debajo y en la superficie del tornillo con un margen de 0.5 cm hacia ambos lados.
- Inserte la pluma dentro de la cavidad.
- Una vez colocada la pluma, el tornillo sin fin se girará de acuerdo con donde requiera el ajuste quedando de frente el cono con la lámina del Micro Switch.
- Una vez que el Micro Switch se encuentre de frente al cono, ajustar las tuercas nuevamente.

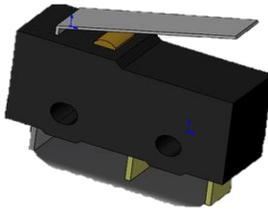
Plan de mantenimiento			Fecha:
Maquina: <i>Micro Switch</i>			
Actividad	Frecuencia	Observaciones	
Verificación de conexiones.	Trimestral	Verificar que no existan conexiones que no se encuentren soldadas.	
Revisión general del cableado, comprobar buen funcionamiento.	Trimestral	Realizar pruebas para verificar el funcionamiento.	
			Recomendaciones
Limpieza general de la conexión.	Diario	Evitar moverlos de su posición original ya que puede descalibrar el sistema.	
Revisión general	Trimestral		
Elaboro			
Operador _____		Encargado _____	

Figura 86. Plan de Mantenimiento de Micro Switch.

Sensor ultrasónico

El sensor ultrasónico se encontrará sobre la placa base, este sensor es el encargado de enviar la proximidad que existe entre él y la pieza máster. Su colocación se muestra de la siguiente manera.

Calibración.

El sensor ultrasónico se encontrará fijo a la placa por lo cual no existirá ningún movimiento, por lo cual para la calibración del sensor se realiza mediante la calibración dentro del código del Arduino, En esta solo se debe de modificar la distancia de detección, la medida determinada es de 4 cm para que este calibrada a la distancia de la pieza.

Mantenimiento.

Plan de mantenimiento			Fecha:
Maquina: <i>Sensor ultrasónico</i>			
Actividad	Frecuencia	Observaciones	
Verificación de conexiones.	Trimestral	Verificar que no existan conexiones que no se encuentren soldadas.	
Revisión general del cableado, comprobar buen funcionamiento.	Trimestral	Realizar pruebas para verificar el funcionamiento.	
			Recomendaciones
Limpieza general de la conexión.	Diario	Evitar moverlos de su posición original ya que puede descalibrar el sistema.	
Revisión general	Trimestral		
Elaboro			
_____		_____	
Operador		Encargado	

Figura 87. Plan de mantenimiento de sensores ultrasónicos.

Mantenimiento de Tarjeta Principal.

La tarjeta principal es la base fundamental de todo el sistema ya que esta es la que recibe toda la información que se obtiene de las mediciones.

Dentro de la tarjeta solo existen los leds, los cuales son indicadores, los leds no pueden ser reparados, por lo cual cuando se dañe uno solo hay que hacer un reemplazo por uno nuevo, especificado en la lista de materiales.

Las resistencias que se encuentran en la tarjeta, al igual que los leds son componentes sin compostura, por lo cual será necesario reemplazarlas por nuevas.

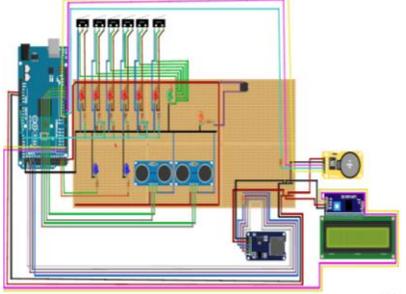
Plan de mantenimiento preventivo			Fecha:
Maquina: <i>Tarjeta Principal</i>			
Actividad	Frecuencia	Observaciones	
Verificación de conexiones.	Trimestral	Verificar que no existan algún aislante en la conexión.	
Revisión general del cableado, comprobar buen funcionamiento.	Trimestral	Realizar pruebas para verificar el funcionamiento.	
Recomendaciones			
Limpieza general de la conexión.	Trimestral	Realizar limpieza de polvo que pueda generarse con aire comprimido	
Revisión general	Trimestral		
Elaboro			
Operador		Encargado	

Figura 88. Plan de mantenimiento de la Tarjeta Principal.

Funcionalidad:

La tarjeta principal está distribuida para la medición de 2 factores.

- Primer Factor.

La placa contiene 7 leds, 6 rojos y uno verde, este sistema de verificación funciona introduciendo la pluma en la cavidad, si la cavidad pasa, el led de color verde se manten

➤ Segundo Factor.

El sistema contiene dos sensores ultrasónicos correspondientes a las cejas salientes de la pieza, estos sensores tienen ubicado en un led en la tarjeta, cuando el operador ponga la pieza los leds comenzarán a hacer un parpadeo de luz azul, cuando la pieza se encuentra en su medida correcta los leds se mantendrán en una luz constante.

Pantalla LCD

La pantalla, tiene la funcionalidad de emitir un mensaje al operador. La tarjeta al ser un componente electrónico no puede brindársele un mantenimiento mayor, por lo cual cuando la pantalla deje de funcionar debe de reemplazarse por una nueva.

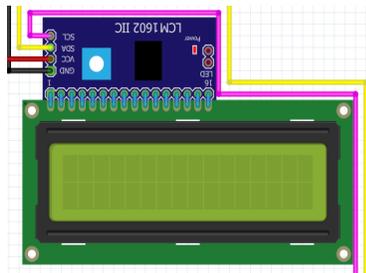
Plan de mantenimiento preventivo			Fecha:
Maquina: Pantalla LCD			
Actividad	Frecuencia	Observaciones	
Verificación de conexiones.	Trimestral	Verificar que no existan algún aislante en la conexión.	
Revisión general del cableado, comprobar buen funcionamiento.	Trimestral	Realizar pruebas para verificar el funcionamiento.	
			Recomendaciones
Limpieza general de la conexión.	Trimestral	Realizar limpieza de polvo que pueda generarse con aire comprimido	
Revisión general	Trimestral		
Elaboro			
Operador		Encargado	

Figura 89. Plan de Mantenimiento de Pantalla LCD.

Módulo de Tarjeta Micro SD

El módulo de tarjeta de almacenamiento SD tiene la funcionalidad de guardar todos los datos sobre la cavidad que no paso, el día y la hora exacta. La tarjeta de almacenamiento al ser un componente electrónico no puede brindársele un mantenimiento mayor, por lo cual cuando deje de funcionar debe de reemplazarse por una nueva.

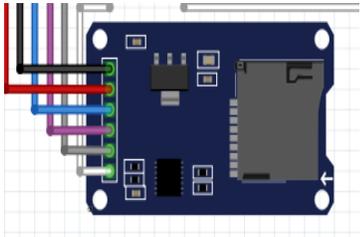
Plan de mantenimiento preventivo			Fecha:
Maquina: <i>Modulo de Tarjeta SD</i>			
Actividad	Frecuencia	Observaciones	
Verificación de conexiones.	Trimestral	Verificar que no existan algún aislante en la conexión.	
Revisión general del cableado, comprobar buen funcionamiento.	Trimestral	Realizar pruebas para verificar el funcionamiento.	
			Recomendaciones
Limpieza general de la conexión.	Trimestral	Realizar limpieza de polvo que pueda generarse con aire comprimido	
Revisión general	Trimestral		
Elaboro			
Operador		Encargado	

Figura 90. Plan de Mantenimiento Modulo de Tarjeta SD.

Reloj de tiempo real.

El reloj de tiempo real tiene la funcionalidad de enviar la hora que está transcurriendo a la pantalla LCD. El reloj al ser un componente electrónico no puede

bridársele un mantenimiento mayor, por lo cual cuando deje de funcionar debe de reemplazarse por una nueva.

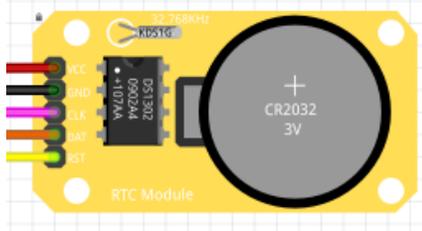
Plan de mantenimiento preventivo			Fecha:
Maquina: <i>Reloj de Tiempo Real</i>			
Actividad	Frecuencia	Observaciones	
Verificación de conexiones.	Trimestral	Verificar que no existan algún aislante en la conexión.	
Revisión general del cableado, comprobar buen funcionamiento.	Trimestral	Realizar pruebas para verificar el funcionamiento.	
			Recomendaciones
Limpieza general de la conexión.	Trimestral	Realizar limpieza de polvo que pueda generarse con aire comprimido	
Revisión general	Trimestral		
Elaboro			
_____		_____	
Operador		Encargado	

Figura 91. Plan de Mantenimiento Reloj de Tiempo Real.

Anexo 15. Dibujos Técnicos de componentes de PLC y Aluminio.

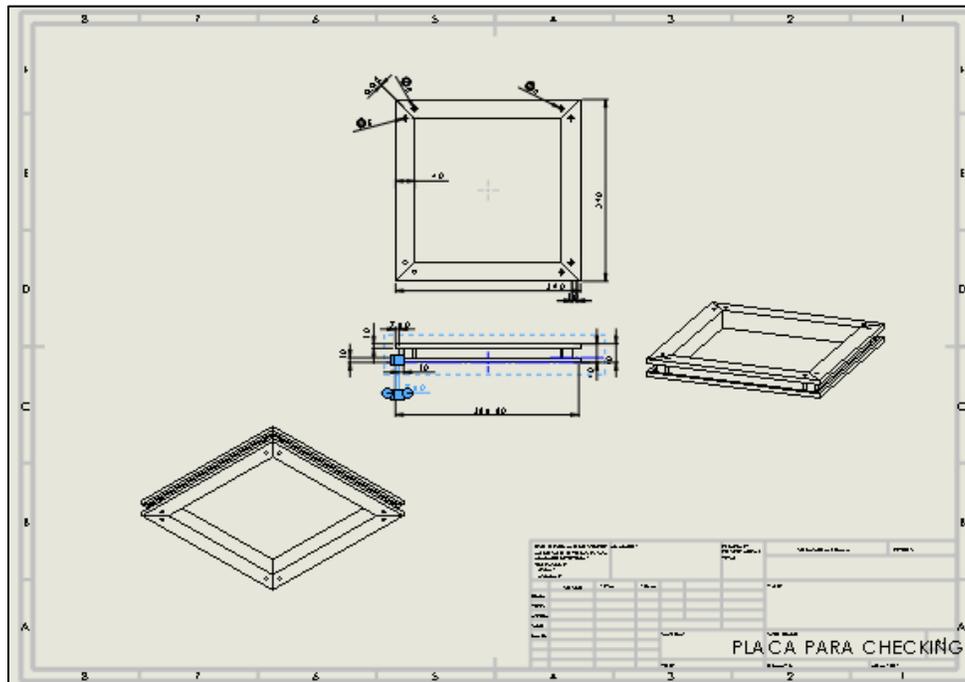


Figura 93. Base de perfil

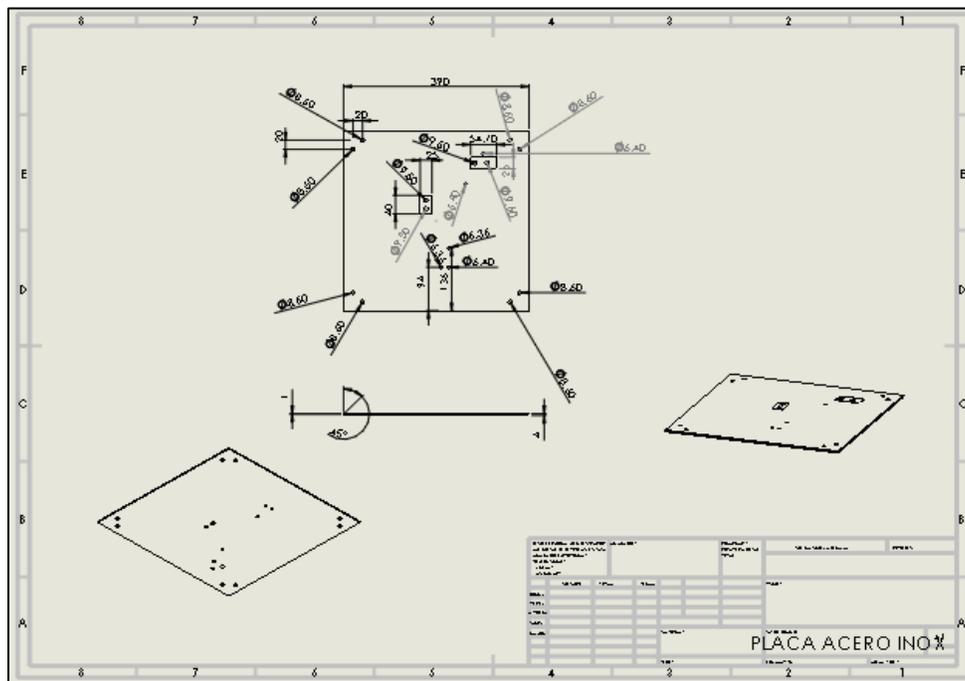


Figura 94. Placa base

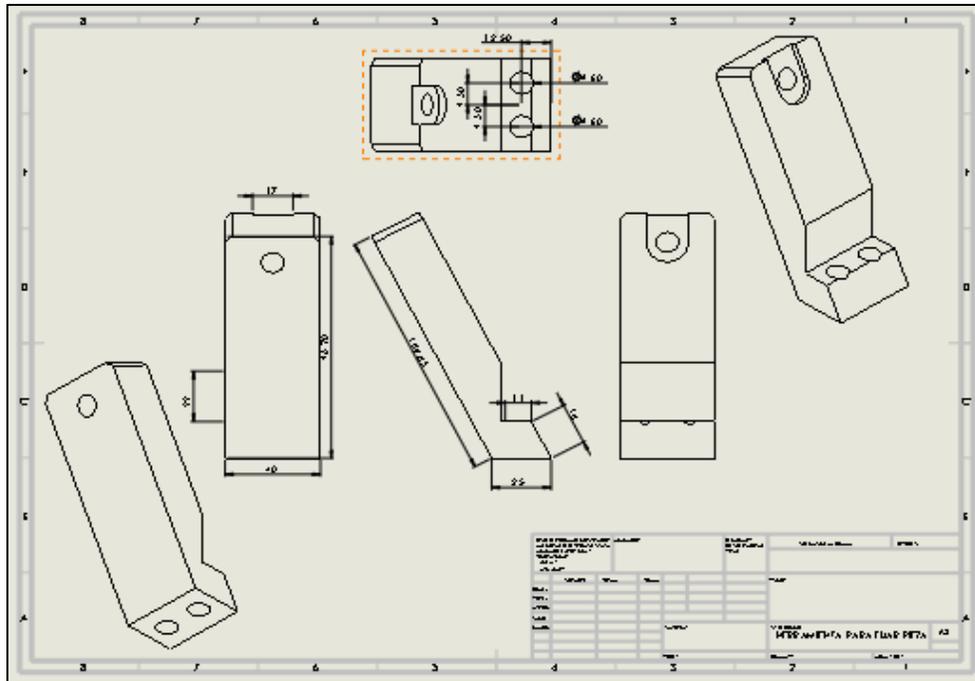


Figura 95. Soporte 1

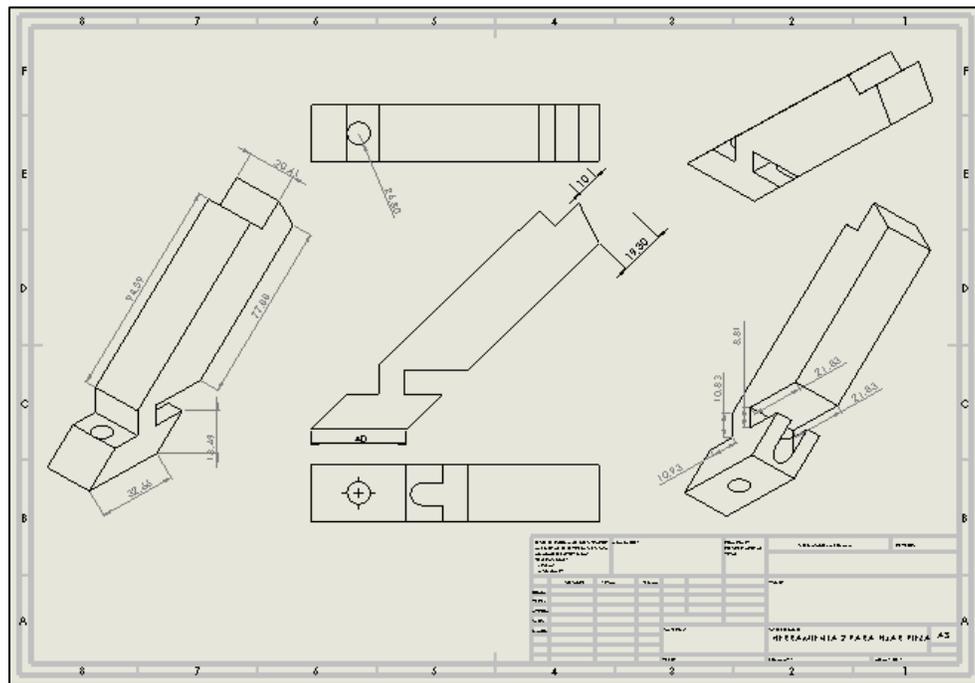


Figura 96. Soporte 2

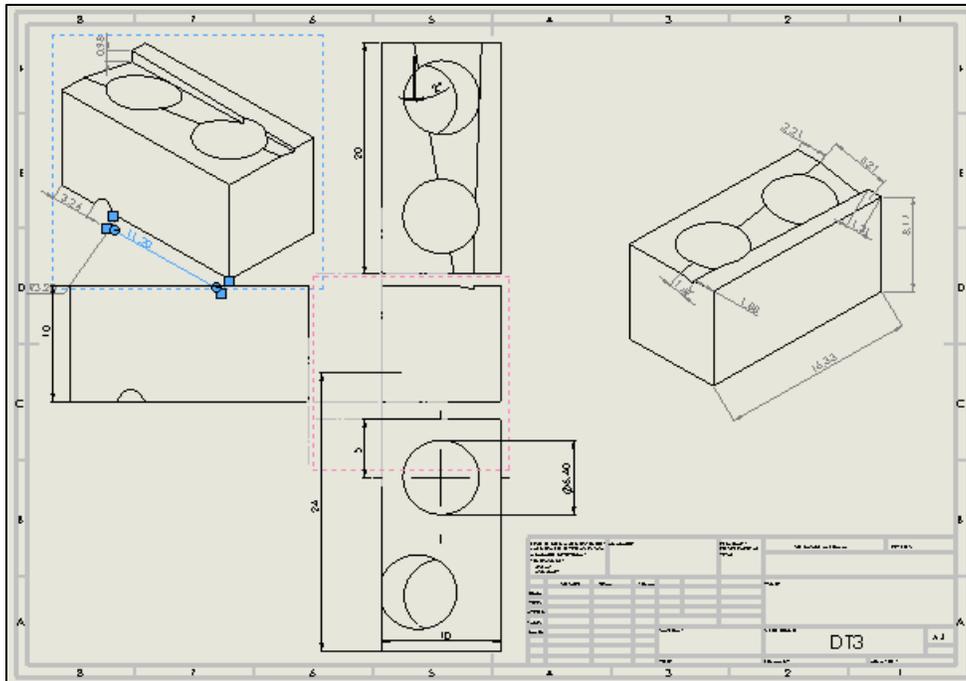


Figura 97. Unión 2

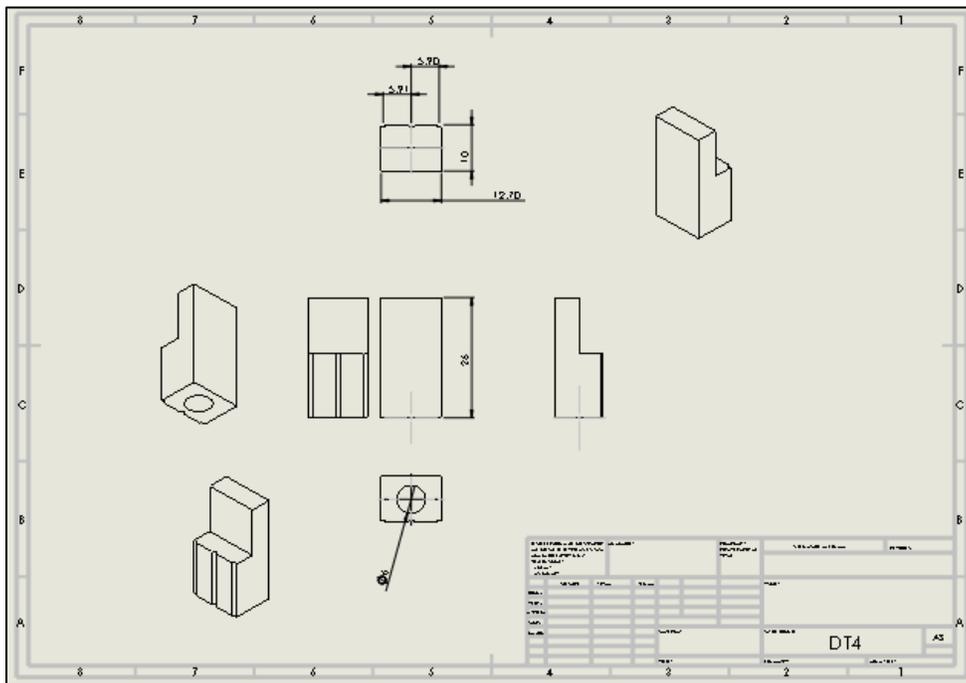


Figura 98. Base porta Switch

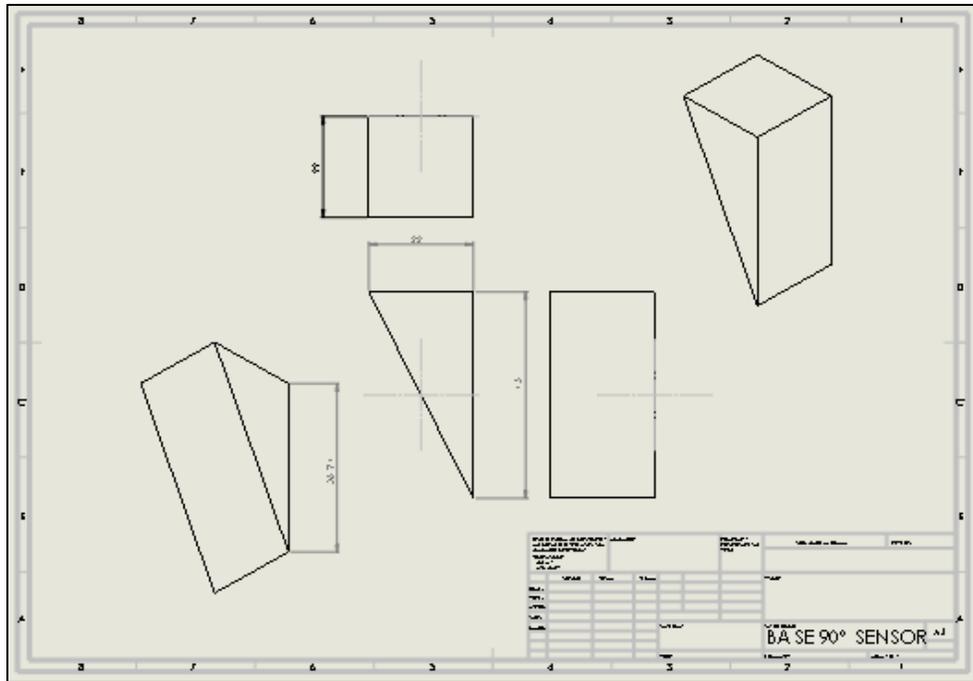


Figura 99. Base de Sensor 2

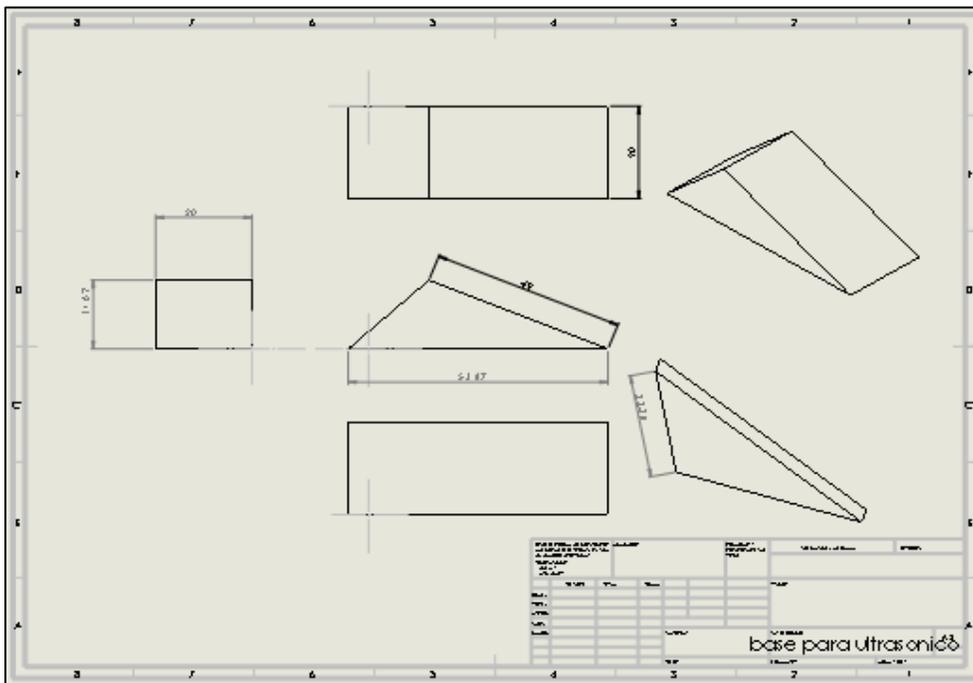


Figura 100. Base para Sensor 1

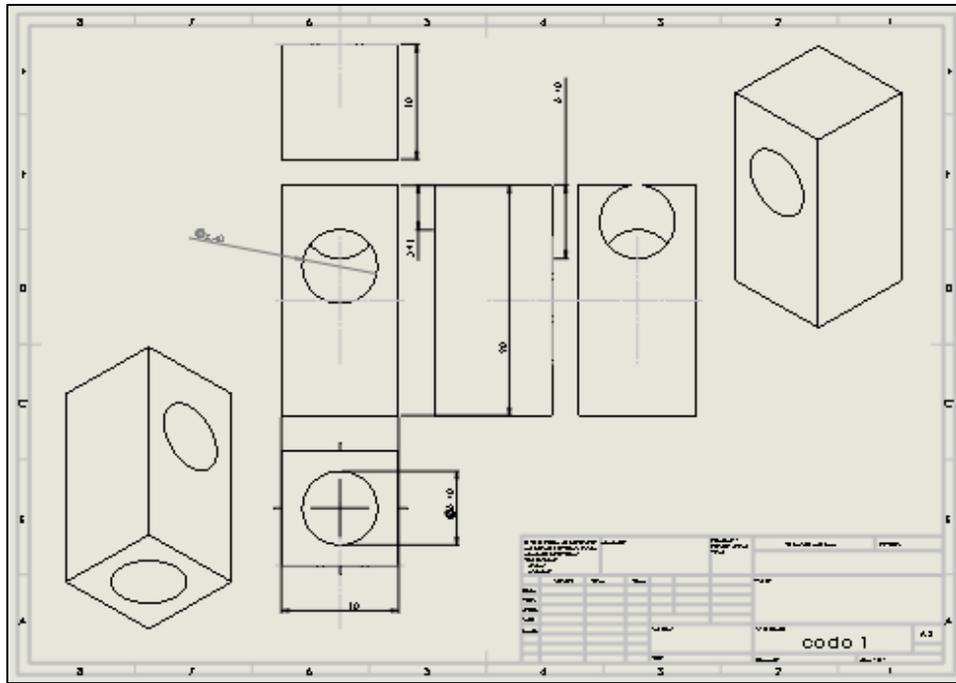


Figura 101. Unión 1

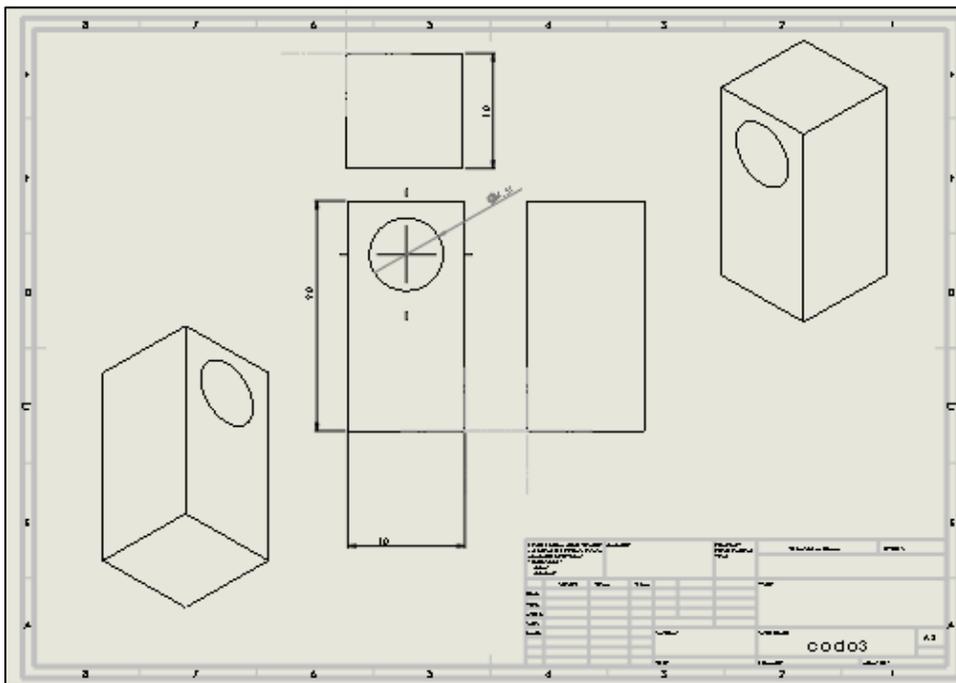


Figura 102. Unión 3

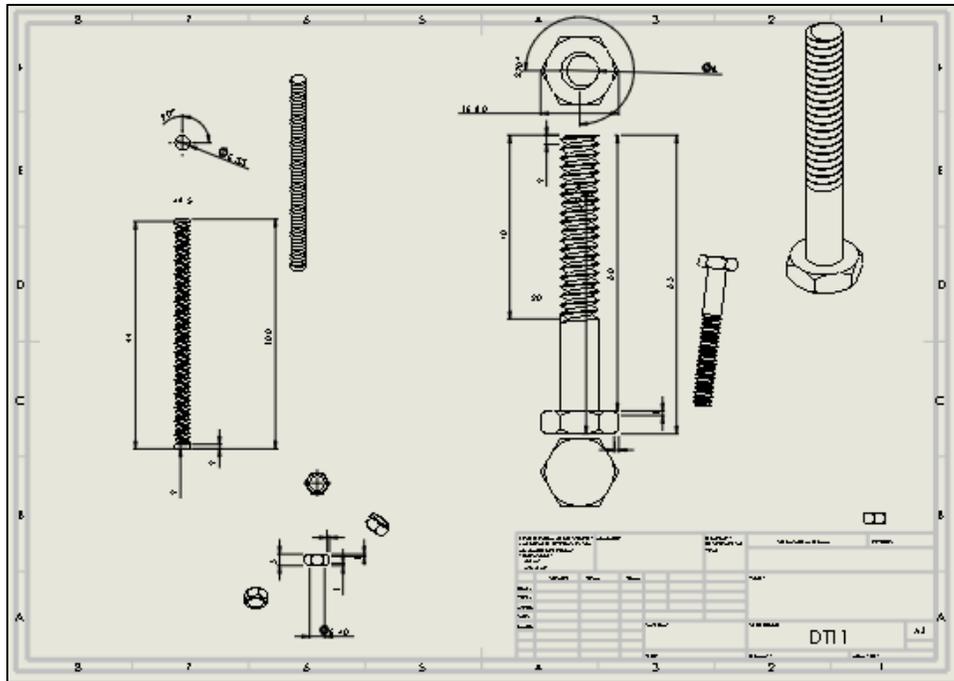


Figura 103. Tornillos y tuercas para placa

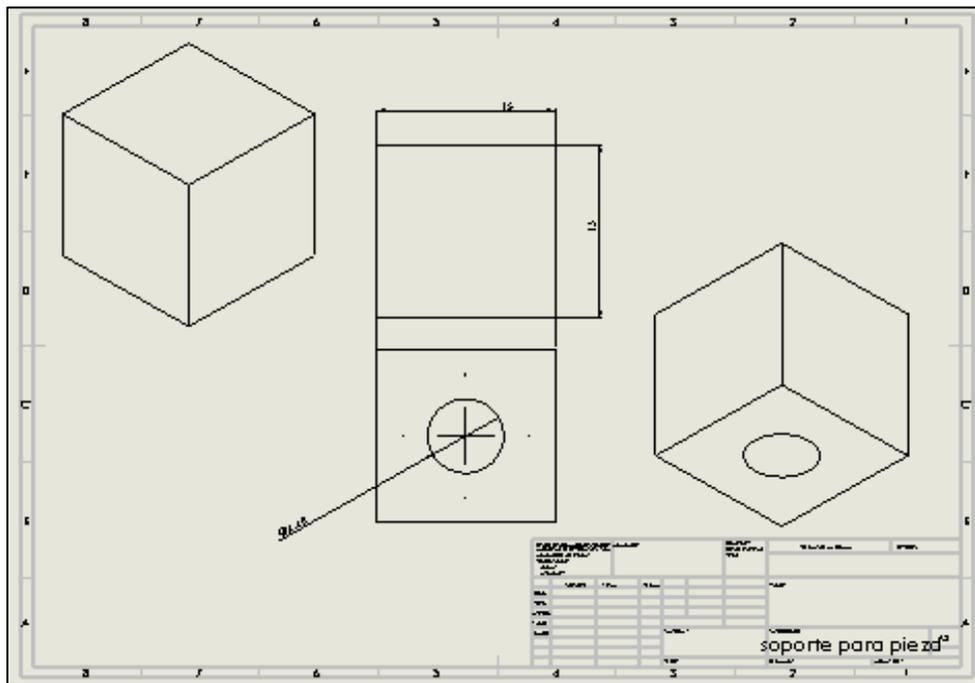


Figura 104. Soporte para pieza

Bibliografía y referencias

[1] Secretaría de Economía. (2016). The Automotive Industry in Mexico. Secretaría de Desarrollo Económico. 1-5.

[2] Tecnología del Plástico. (2018). La industria plástica en América Latina: ¿Qué esperar en 2018?. ISSN 0120-7644. Bogotá, Colombia. 14-33.

[3] Díaz, J.; Zapata, E.; Cabrera, C.; Vázquez, F.; Ayala, E. (2016). Diseño y desarrollo de un dispositivo de medición Fixture & Gage para la medición de piezas automotrices con aplicación didáctica en la UPSRJ. Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui. Querétaro. 1-6.

[4] International Organization for Standardization. (2015). Norma Internacional ISO 1938-1 (2015). Geometrical product specifications (GPS) — Dimensional measuring equipment —Part 1: Plain limit gauges of linear size. 2-23.

[5] Centro Regional de Optimización y Desarrollo de Equipo. (2019). CRODE Celaya presenta proyecto de moldes de inyección de plásticos. México. Nota Informativa 02/19.

[6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2019). Encuesta Mensual de la Industria Manufacturera (EMIM). Recuperado el 27 de marzo del 2020: https://www.inegi.org.mx/programas/emim/2007/default.html#Datos_abiertos.

[7] y [34] Tapia, H. (2010). Conceptualización, diseño y desarrollo de estación didáctica para metrología industrial. Simposio de Metrología 2010. CENAM. 1-8.

[8] Secretaría de Economía (2017). 12-189 Estudio de prospectiva tecnológica para la manufactura de troqueles y su aplicación en el contexto nacional. Recuperado el 27 de marzo del 2020: <https://www.gob.mx/se/documentos/12-189-estudio-de-prospectiva-tecnologica-para-la-manufactura-de-troqueles-y-su-aplicacion-en-el-contexto-nacional?state=published>.

- [9] Ramírez, R. (2018, 3 de agosto). Desaprovechan en México el potencial de herramientas. Vanguardia MX. Recuperado el 27 de marzo del 2020 de: <https://vanguardia.com.mx/>.
- [10] Sotolongo, J. (2001). Costos de la calidad, su estructura e implementación. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. 23-28.
- [11] García, M. (2002). Costo de la calidad y de la mala calidad. Industrial Data. Perú. 15-20.
- [12] Arsalan, M.; Kirchaina. R.; Novoa, H.; Araujo, A. (2017). Cost of quality: Evaluating cost-quality trade-offs for inspection strategies of manufacturing processes. International Journal of Production Economics 188. Nederland. 156-166.
- [13] Andonović V.; Vrtanoski G.; Vrtanoski G. (2010). Growing rapid prototyping as a technology in dental medicine. Mech Eng Sci J. 31–39.
- [14] Torabi, K.; Farjood, E.; Hamedani, S. (2015). Rapid Prototyping Technologies and their Applications in Prosthodontics, a Review of Literature. Iran. 1-9.
- [15] y [47] Pressman, R. (2010). Ingeniería del software. Un enfoque Práctico. Mc Graw Hill. 26-54.
- [16] Chang, K. (2015). E-Design. China. 743-786.
- [17] Guerrero, C.; Torres, E.; Sanz, V.; Juárez, D. (2014). Aspectos destacables de la ingeniería concurrente. 3C Tecnología. Vol. 3. España. 123-130
- [18] Chua, C.; Wong, C.; Yeong, W. (2017). Standards, Quality Control, and Measurement Sciences in 3D Printing and Additive Manufacturing. China. 743-786.
- [19] Bi, Z. (2019). Finite Element Analysis Applications. China. 455-494.
- [20] Suganuma, K. (2018). Wide Bandgap Power Semiconductor Packaging. Japón. 199-223.
- [21] Dassault Systemes. (2015). Introducing solidworks. USA. 83-90.
-

- [22] Smith, E. (2013). Mechanical Engineer's Reference Book. University of Central Lancashire. 6-44.
- [23] Sinclair, R. (2015). Textiles and Fashion. Materials, Design and Technology. 671-703.
- [24] Lean Six Sigma. (2016). Poka-Yoke, vizualizace. [1]. Recuperado el 4 de abril del 2020 de: <https://lean6sigma.cz/poka-yoke-vizualizace/>
- [25] Arango, M.; Campuzano, L.; Zapata, J. (2015). Mejoramiento de procesos de manufactura utilizando Kanban. [1]. Revista Ingenierías. Colombia.
- [26] Parisotto, C. (2016). Método SMED: Análise e aperfeiçoamento. ISSN 1132-175X. Nº 60. Brasil. 4-23.
- [27] Almería, J.; Gisbert, V.; Pérez, A. (2018). Cuadernos de investigación aplicada. ISBN: 978-84-949535-4-5. España. 41-46.
- [28] Wright, J. (2015). International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. Stanford. 895-902.
- [29] Deploy VR. (2015). Aplicaciones para la AR en la manufactura. [10]. Recuperado el 3 de abril del 2020 de: <https://escapetovr.com/applications-for-ar-in-manufacturing/>
- [30] Voogt, J.; Fisser, P. (2015). International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. Stanford. 493-497.
- [31] Carvajal, G.; Maucec, M.; Cullick, S. (2018). Intelligent Digital Oil and Gas Fields. ISBN: 978-0-12-804642-5. United Kingdom. 321-350.
- [32] Williams, G.; Gheisari, M.; Chen, Po.; Irizarry, J. (2015). BIM2MAR: An Efficient BIM Translation to Mobile Augmented Reality Applications. Journal of Management in Engineering / Volume 31. USA.

- [33] Jorio, A.; Dresselhaus, M. (2016). Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. ISBN: 978-0-12-803581-8. Irland. 1-7.
- [35] Barrios, F. (2019). Taller de Metrología Dimensional. Capacitación para el trabajo y la inserción laboral. Edición 2019. Guanajuato: SABES.
- [36] Centro Nacional de Metrología. (2020). Metrología Dimensional. Recuperado el 4 de abril del 2020 de: <http://www.cenam.mx/dimensional/>
- [37], [38] y [41] Chrysler Group LLC, Ford Motor Company, General Motors Corporation. (2010). Measurement systems analysis. ISBN: 978-1-60-534211-5. USA. 21-202.
- [39] Gutiérrez, H.; De la Vara, R. (2013). Control estadístico de calidad y seis sigma. Mc Graw Hill. 182-210
- [40] Minitab. (2019). ¿Qué es un estudio de linealidad y sesgo del sistema de medición?. Recuperado el 8 de abril del 2020 de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/other-gage-studies-and-measures/what-is-a-gage-linearity-and-bias-study/>
- [42] Tang, K.; Boltze, M.; Tian, Z. (2019). Global Practices on Road Traffic Signal Control. China. 7-17.
- [43] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2016). Agendas Estatales y Regionales de Innovación. CONACYT.
- [44] Gobierno del Estado de Guanajuato. (2018). Programa de Gobierno 2018-2024. Gobierno del Estado de Guanajuato 10-13.
- [45] Molina, J. (2007) Acreditación de un laboratorio de metrología dimensional: normas y requisitos. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. 1-5.

[46] Tapia, H.; Águila, J. (2016). Concurso entre universidades método para integrar alumnos a la industria automotriz. Asociación Nacional de Facultades de Ingeniería. 1-9.

[48] Dapena, A.; García, J.; Castro, P.; Pan, C. (2002). Aplicación web para evaluación y seguimiento del rendimiento de asignaturas y titulaciones universitarias. Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria. Vol. 3, N° 3, 152-165.

[49] F J, Gruzleski J E, Samuel F H, Valtierra S, & Doty H W. "Effect of Mg and Sr-modification on the mechanical properties of 319-type aluminum cast alloys subjected to artificial aging". Materials Science and Engineering A. 480: 356–364. (2008).

[50] Shaha S.K., Czerwinski F., Kasprzak W., Friedman J. & Chen D.L. "Microstructure and mechanical properties of Al–Si cast alloy with additions of Zr–V–Ti". Materials & Design, 83, 801-812. (2015).

Referencias

Libros digitales:

Ramírez, T. M., & Flores, G. A. (2010). Metrología y normalización. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Cámara, D. D. D. H. C. (2016). Ley federal sobre metrología y normalización. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Gallardo, R. F. L. (2012). Técnicas de mecanizado y metrología (uf1213). Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Escamilla, E. A. (2014). Metrología y sus aplicaciones. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Sánchez, F. M. (2012). Elaboración de programas de cnc para la fabricación de piezas por arranque de viruta (uf0879). Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

French, T. E., & Vierck, C. J. (1981). Dibujo de ingeniería (3a. ed.). Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Gómez, G. S. (2008). Solidworks®. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Universidad, C. D. C. (Ed.). (2015). I congreso internacional de innovación y tendencias en ingeniería coniiti 2015. volumen 1. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Germán, C. R. L., Abarca, J. G. S., & Mares, C. J. (2014). Sensores y actuadores: aplicaciones con arduino. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Gráficos estadísticos y mapas con r. (2013). Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Madrigal, M. R. (2018). Control estadístico de la calidad: un enfoque creativo. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Acevedo, M. (2016). Ergonomía de las herramientas de mano. [http://ergonomia.cl/eee/Inicio/Entradas/2016/4/17 Ergonomia de las herramientas de mano.html](http://ergonomia.cl/eee/Inicio/Entradas/2016/4/17/Ergonomia_de_las_herramientas_de_mano.html)

Mondelo, P. R., Gregori, T. E., & Barrau, B. P. (2010). Ergonomía 1: fundamentos. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>

Obregón, S. M. (2016). Fundamentos de ergonomía. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>