

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

Facultad de Ciencias de la Electrónica



Tesis presentada para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería
en Mecatrónica.

Instrumentación de un Checking Fixture con Tecnología de la Industria 4.0

Presenta:

Christopher Macias Somellera

Director de tesis:

Dr. Cesar Augusto Arriaga Arriaga

Asesor de tesis:

M.C. Juan Carlos Rojas Bravo

Asesor de tesis externo:

Ing. Jonathan Omar Andraca Alcocer

Agosto 2021

Agradecimientos

Al concluir una etapa maravillosa de mi vida quiero extender un profundo agradecimiento, a quienes hicieron posible este sueño, aquellos que junto a mí caminaron en todo momento y siempre fueron inspiración, apoyo y fortaleza. Esta mención en especial para DIOS, mis padres y mi hermano. Muchas gracias a ustedes por demostrarme que «El verdadero amor no es otra cosa que el deseo inevitable de ayudar al otro para que este se supere.»

Mi gratitud, también a la Facultad de ciencias de la electrónica, mi agradecimiento sincero a los asesores de mi tesis Dr. Cesar Augusto Arriaga Arriaga, M.C. Juan Carlos Rojas Bravo y Ing. Jhonatan Omar Andraca Alcocer, gracias a cada docente quienes con su apoyo y enseñanzas constituyen la base de mi vida profesional.

Un especial agradecimiento al M.A. Aysel Reyes García por ir más allá del deber de un amigo apoyándome en las correcciones ortográficas y la estructura de esta tesis. En particular agradezco a la Ing. Miriam por creer en mí brindándome el apoyo y los conocimientos que fueron la base para poder realizar este prototipo.

Gracias, infinitas a todos.

Dedicatoria

Familia, amigos, y personas especiales en mi vida, no son nada más y nada menos que un solo conjunto: seres queridos que suponen benefactores de importancia inimaginable en mis circunstancias de humano. No podría sentirme más ameno con la confianza puesta sobre mi persona, especialmente cuando he contado con su mejor apoyo desde que siquiera tengo memoria.

Este nuevo logro es en gran parte gracias a ustedes; he logrado concluir con éxito un proyecto que en un principio podría parecer tarea titánica e interminable. Quisiera dedicar mi tesis a ustedes, personas de bien, seres que ofrecen amor y bienestar.

Resumen

A partir de la segunda etapa de la revolución industrial se dio la creación de una herramienta del área de calidad que permite hacer los chequeos de piezas de manera rápida y eficiente llamada checking fixture, entre la segunda y tercera revolución industrial se realizaron implementaciones de tecnologías tanto en software y maquinado traducidos en mejor precisión en los checking fixtures. Pero a partir de la tercera revolución industrial se comenzó a observar una falta de innovación principalmente por los altos costos y la vida útil tan corta de esta herramienta, se buscaron varias opciones para la creación de nuevos sistemas que realizaran el mismo trabajo que un checking fixture, pero los resultados no fueron muy favorables.

En este proyecto se realizará y fabricará un checking fixture manteniendo sus principios básicos de diseño, precisión y teniendo en cuenta la ergonomía del operador con una implementación tecnológica de la actual cuarta revolución industrial la cual permitirá mandar los resultados de la medición a una base de datos y a un servidor en internet donde los resultados se usarán para la creación de una estadística que facilita al operador la toma de decisiones sobre acciones correctivas en el proceso de fabricación; la estadística y el historial de mediciones serán presentados en una página web que puede ser visualizada por medio de dispositivos más pequeños que una PC como smartphones y tablets.

Esta implementación permitirá la integración de tecnología de gran potencia, pequeñas dimensiones y costos accesibles; cabe recalcar que los principios usados en esta tesis no son exclusivos de los checking fixture y estos pueden ser aplicados a otros procesos de la industria lo cual permitirá dar los primeros pasos de la adopción de las prácticas de la Industria 4.0 en México.

Índice general

Agradecimientos	I
Dedicatoria	II
Resumen	III
Índice de tablas	IX
1. Antecedentes	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	4
1.3. Objetivos	6
1.3.1. General	6
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Alcances	6
1.5. Limitaciones	6
2. Estado del arte	7
2.1. Datum	7
2.1.1. Tipos de datum	9
2.1.2. Datum target	10
2.2. Conocimiento previo de GD&T	12
2.2.1. Definición	12
2.2.2. Ventajas	12
2.2.3. Desventajas	12
2.2.4. Reglas generales de GD&T	12
2.2.5. Cuadro de control geométrico	13
2.3. Características geométricas	14
2.3.1. Simbología	14
2.3.2. Características geométricas tipo forma	15
2.3.3. Redondez o circularidad	18
2.3.4. Características geométricas tipo orientación	19

2.3.5.	Características geométricas tipo localización	23
2.3.6.	Características geométricas tipo variación o cabeceo	26
2.3.7.	Características geométricas tipo perfil	28
2.4.	IoT (Internet de las Cosas)	29
2.4.1.	Definición	29
2.4.2.	ESP8266	29
3.	Desarrollo	31
3.1.	Diseño	31
3.1.1.	Requerimientos	31
3.1.2.	Cálculos	32
3.1.3.	Ensamble	35
3.2.	Fabricación	36
3.2.1.	Materiales	36
3.2.2.	Maquinado	39
3.3.	Instrumentación	41
3.3.1.	Sensores	41
3.4.	Programación	44
3.5.	Electrónica	46
3.6.	Servidor	47
3.7.	Interfaz web	50
4.	Resultados	52
4.1.	Checking fixture	52
4.2.	Interfaz	53
4.3.	Proceso de medición	55
4.4.	Comparativa con otros desarrollos	58
5.	Conclusiones	61
Anexo I: Manual de usuario		63
Anexo II: Especificaciones técnicas de dispositivos móviles		72

Índice de figuras

1.1. Checking fixture para la industria automotriz	2
1.2. Primeros dispositivos de control [6]	2
1.3. Tipos de checking fixture.	5
2.1. Símbolo de datum	7
2.2. Limitación de grados de libertad.	8
2.3. Datum primario.	8
2.4. Datum secundario.	8
2.5. Datum terciario.	8
2.6. Símbolo y composición de un datum target.	10
2.7. Representación target punto.	10
2.8. Representación target línea.	11
2.9. Representación target área.	11
2.10. Ejemplo de aplicación de regla #1.	13
2.11. Ejemplo de aplicación de regla #2.	13
2.12. Partes de un cuadro de control geométrico.	14
2.13. Símbolo de planicidad.	15
2.14. Planicidad aplicada a una superficie.	15
2.15. Control de planicidad aplicado en plano medio.	16
2.16. Símbolo de planicidad.	16
2.17. Control de rectitud aplicado en superficie.	17
2.18. Control de rectitud aplicado a eje.	17
2.19. Símbolo de redondez.	18
2.20. Control de redondez.	18
2.21. Símbolo de cilindricidad.	18
2.22. Control de cilindricidad.	19
2.23. Símbolo de paralelismo.	19
2.24. Control de paralelismo en una superficie.	20
2.25. Control de paralelismo en FOS.	20
2.26. Símbolo de perpendicularidad.	21
2.27. Control de perpendicularidad en superficie.	21
2.28. Control de perpendicularidad en FOS.	22

2.29. Símbolo de angularidad.	22
2.30. Control de angularidad en superficie.	23
2.31. Control de angularidad en FOS.	23
2.32. Símbolo de concentricidad.	24
2.33. Control de concentricidad.	24
2.34. Símbolo de simetría.	24
2.35. Control de simetría.	25
2.36. Símbolo de posición verdadera.	25
2.37. Ejemplo de control de posición verdadera.	26
2.38. Símbolo de cabeceo circular.	26
2.39. Control de cabeceo circular.	27
2.40. Símbolo de cabeceo circular total.	27
2.41. Control de cabeceo circular total.	27
2.42. Simbología de características geométricas tipo perfil.	28
2.43. Control de perfil de línea.	28
2.44. Control de perfil de superficie.	29
2.45. Configuración de pines de la tarjeta ESP8266.	30
3.1. Pieza de trabajo.	31
3.2. Gage go-no go.	33
3.3. Punta localizadora.	34
3.4. Vista isométrica.	35
3.5. Vista frontal.	35
3.6. Fresado de placa base.	39
3.7. Maquinado de torre principal.	40
3.8. Proceso de impresión 3D.	40
3.9. Sensor LJ8A3-2-Z/BX.	41
3.10. Localización de sensor inductivo.	42
3.11. Sensor TTP223B.	43
3.12. Ubicación de sensor capacitivo touchless.	43
3.13. Diagrama de flujo de programa de ESP8266.	45
3.14. Módulo de expansion NODEMCU.	46
3.15. Diagrama de conexiones de los sensores.	47
3.16. Plataforma AWS Educate.	48
3.17. Proceso de selección de protocolos de seguridad.	48
3.18. Plataforma Vesta panel.	49
3.19. Plataforma EMQX.	49
3.20. Complemento de diseño para paginas web Flakit.	50
3.21. Elementos predeterminados para diseño web.	51
3.22. Requerimientos interfaz web.	51
4.1. Distribución de piezas en checking fixture.	53

4.2. Elementos de medición de checking fixture.	53
4.3. Página de Login para permitir acceso a visualización.	54
4.4. Página principal de la interfaz.	54
4.5. Sección de estadística.	55
4.6. Medición dimensional.	55
4.7. Proceso de fijación de bracket.	56
4.8. Botón para iniciar medición.	56
4.9. Proceso de medición de característica de localización.	57
4.10. Visualización de resultados.	57
4.11. Características de checking fixture.	58

Índice de tablas

2.1 Grados de libertad restringidos por datum primario.9
2.2 Características geométricas.14
3.1 Lista de materiales de piezas de checking fixture.36
3.2 Especificaciones técnicas impresoras 3D.41
3.3 Comparativa de sensores superiores.42
3.4 Comparativa de sensores laterales.44
4.1 Costos del prototipo..59

Capítulo 1

Antecedentes

En el presente apartado se realizará una revisión de la innovación tecnológica en los checking fixture que se ha dado en cada una de las etapas de la revolución industrial al igual que una revisión de las últimas investigaciones tecnológicas de los checking fixture, los alcances y limitaciones del proyecto de tesis constituidas por la justificación, objetivo general y los objetivos específicos de este trabajo.

1.1. Introducción

Cada determinado tiempo la industria tiene un periodo de evolución donde los avances tecnológicos de la época se adaptan a las necesidades de esta, obteniendo una reducción del tiempo de fabricación en el proceso de producción.

Se llama revolución industrial al proceso de desarrollo y de transformación que se efectuó en la industria y el comercio [1], entre sus principales características resaltan la innovación en la ciencia, la técnica de manufactura, los medios de comunicación y de transporte.

La primera revolución industrial se dio a mitad del siglo XVIII con la máquina de vapor junto con la fabricación mecanizada donde está última generó un desarrollo de máquinas, instrumentos mecánicos con el principal propósito de ser empleados en la manufactura a gran volumen permitiendo que la industria lograra aumentar su producción con poco personal, obtener materia prima como el acero, el carbón y el uso de la energía hidráulica [2].

Los avances tecnológicos que se introdujeron en 1850 a la industria fue la producción en serie, nuevos sistemas de transporte, la aparición del teléfono, la radio; con esto se puede concluir que toda la investigación científica de esa época se orientó a la industria, asimismo inicio la era del metal y el petróleo con el uso de nuevos materiales en especial metales como el acero, zinc, cobre, aluminio y el níquel [3].

Durante esta segunda revolución industrial innovaron la manufactura y permitieron la mejora de métodos de medición introduciendo la idea que existían variaciones en los procesos de manufactura [4], comenzando con el uso de las tolerancias, la creación del Sistema de Dimensionamiento Geométrico y Tolerancia (GD&T, por sus siglas en inglés) y el uso de todos estos conceptos en lo que son los *checking fixture* (herramientas del área de calidad).

Los checking fixture (Fig. 1.1) conforman una parte muy importante en el proceso de manufactura automatizada, ya que, permite la inspección de piezas al instante y asegura que estas cumplan con las características requeridas [5], logrando así el ensamblaje entre ellas sin la necesidad de tener en su momento la contraparte donde acoplara.

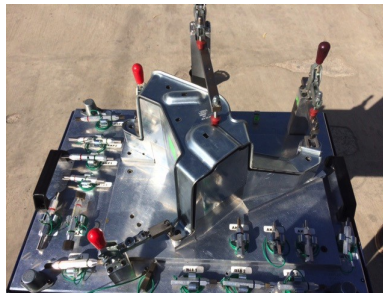


Figura 1.1: Checking fixture para la industria automotriz

Los primeros diseños de checking fixture (Fig. 1.2) datan de esta etapa alrededor de los años 30 donde la tecnología en esa época eran dispositivos totalmente analógicos [6], se destaca el uso de instrumentos como el medidor de alturas con un set de puntas intercambiables para hacer las mediciones según el área a medir.

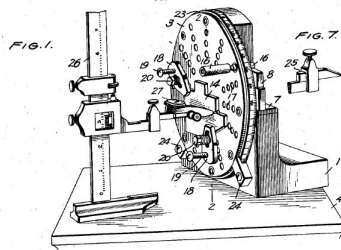


Figura 1.2: Primeros dispositivos de control [6]

Durante los años 80 se introdujeron los instrumentos de medición digitales [7], gracias a este avance se obtuvo una lectura de medidas más precisas e inmediatas, eliminando en un porcentaje el error del operador; una desventaja era que para checar una medida diferente de ranura se tenía que ajustar los calibradores al tamaño deseado.

A partir de los años 90 se vieron aplicados los avances de la computación y programación en los checking fixture, introduciendo estos sistemas computacionales para guardar datos y

generar estadísticas acerca de los lotes de piezas generadas cada cierto tiempo en el área de producción. Un claro ejemplo es el sistema que está conformado por sensores que obtienen información de la localización de los planos, puntos o ejes de referencia (*datums*) en la pieza a medir y exportan los datos a una computadora para procesarlos y generar una compensación de las coordenadas medidas en caso de que los sensores no logren establecer un contacto adecuado con el sensor [8].

Todo este procesamiento de datos sirve para poder determinar qué tan grande o pequeña es la variación en el proceso y generar una solución adecuada para corregir el proceso de fabricación. La tecnología aplicada en los checking fixture se ha vuelto un obstáculo en el área de trabajo, ya que, no se ha innovado en aplicar tecnología compacta que posibilite la fabricación de checking fixture de un menor tamaño y permita que el operador trabaje de una manera adecuada sin perjudicar su movilidad y ergonomía a la hora de realizar su labor.

En el año 2000, se apostó por la creación de algoritmos para crear una mejora a los software de diseño, entre los trabajos más importantes se encuentra el desarrollo de un algoritmo que permite observar las colisiones entre los propios elementos de un checking fixture ayudando a reducir este tipo de problemáticas a la hora de realizar el ensamble [9].

En el año 2006, comenzó el auge de la tercera etapa de la revolución industrial, las principales tecnologías que fueron la base en esta etapa fue el uso de energía renovable, la automatización de los procesos permitiendo un híbrido de fabricación tradicional y producción en serie con nuevas tecnologías y el uso del internet como un sistema tecnológico abierto y global [10].

En este mismo año, se comenzó a implementar las redes neuronales en software de diseño, donde uno de los trabajos más destacados es el uso de redes neuronales para sustituir a los diseñadores mediante un algoritmo capaz de seleccionar la opción más viable para diseñar un checking fixture; esta red neuronal se entrena mediante las soluciones dadas por los ingenieros expertos en el área en diferentes casos al momento de realizar el checking fixture de la autoparte. Al final de este experimento se comparan resultados obtenidos por los ingenieros y los resultados de la red neuronal teniendo una cercanía entre ellos [11].

En esta fase se realizó la obtención de los datos de un proceso en tiempo real de manera más fácil y la transmisión de estos a subprocesos para poder hacer correcciones inmediatamente, se destaca en este periodo el logro de una comunicación global entre sedes de la empresa para controlar procesos y llevar un control de producción de ciertos productos.

Esta tecnología se ve reflejada en los checking fixture mediante elementos de fijación que de manera automática alinean la pieza acorde a lo mencionado en los planos y lo especificado en el GD&T; una de las ventajas en procesos de metrología automatizados es el procesamiento de datos en tiempo real que permite la fácil obtención de las características principales de medición mediante el uso de sensores y algoritmos, para poder generar una solución adecuada para que el operador pueda aplicarla en el proceso de producción en caso de que la pieza no esté aprobada [12].

En esta etapa se dieron mejoras a los software de diseño, un ejemplo es el planteamiento de un algoritmo que solucionara el problema de las superficies complejas ayudando a resolver la problemática de la intersección y superposición de los puntos en una curva para poder crear una superficie compleja [13].

Actualmente se enfrentan a una cuarta fase de esta revolución industrial, la cual tiene sus bases en las tecnologías de la fase anterior, esta nueva etapa se caracteriza por un internet mucho más accesible y global, por sensores más pequeños y potentes, la integración de la inteligencia artificial en los procesos industriales y del aprendizaje automático [14].

El manejo de datos juega un gran papel en esta nueva fase gracias a las tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés), Big Data e Inteligencia Artificial [15], de esta manera conformando fábricas totalmente automatizadas donde las máquinas que integran los procesos están interconectadas mediante un servidor principal; obteniendo el beneficio de prevenir futuras fallas mediante el análisis y cálculo de los datos adquiridos de los procesos, al mismo tiempo se recaba el número de piezas necesarias acorde a la necesidad o el stock que marquen los datos de otra fábrica [16].

1.2. Justificación

Los checking fixture han estado en constante evolución gracias a la aplicación de las tecnologías principales de cada revolución industrial desde la introducción de las tolerancias y GD&T, aunque en los últimos años se ha observado un estancamiento en innovación debido a dos motivos; primero, la implementación de tecnología hace más costoso el checking fixture, ya que, se requiere de alta precisión para cumplir con los requerimientos de las mediciones, por estos motivos es muy común el desarrollo de checking fixture con elementos analógicos en el caso del tipo atributos (Fig. 1.3a) y de instrumentos digitales (reloj indicador) para el de tipo variables (Fig. 1.3b). Segundo, la automatización de los checking fixtures no es redituable para las empresas, ya que, debido a la actualización de modelos de automóvil cada año las piezas van modificándose y las geometrías son diferentes, por lo tanto, se debe de fabricar un checking fixture nuevo acorde a los nuevos requerimientos. Es muy raro el caso donde solo se tenga que hacer pequeñas modificaciones al checking fixture con el que se había estado trabajando para poder adaptarlo a la pieza de la nueva versión del automotor.

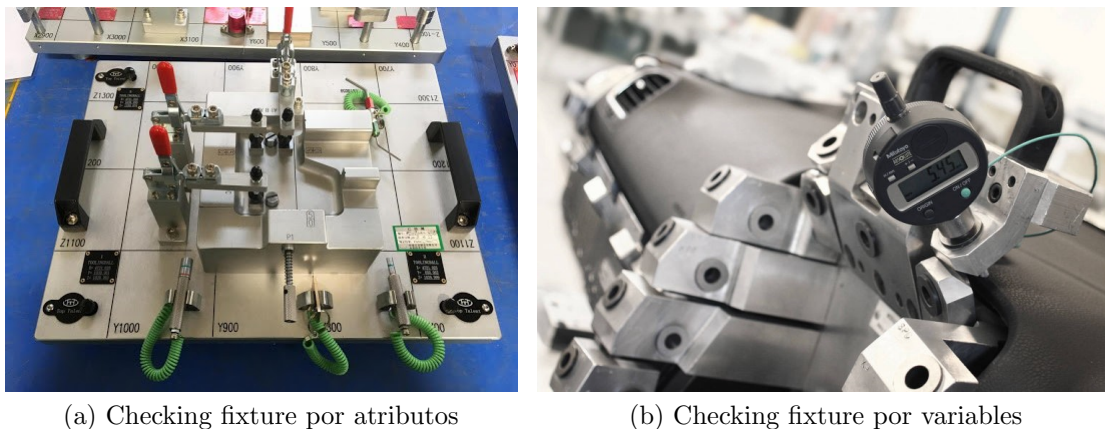


Figura 1.3: Tipos de checking fixture.

En el año 2011, se realizó el desarrollo de un nuevo sistema de medición queriendo eliminar factores que afectan a los checking fixture tales como alto costo, poca automatización y menor flexibilidad, en el cual un robot era enseñado a hacer las mediciones de la pieza acorde a lo especificado en el GD&T. El resultado de cada medición hecho por este sistema arroja un error de 0.101 mm [17], haciendo el análisis del resultado podemos observar que está muy lejos de la precisión requerida en los checking fixture debido a que los errores manejados rondan alrededor de las centésimas hasta las micras.

En este trabajo, se busca implementar tecnología a los checking fixtures sin afectar a su precisión, la utilidad de este proyecto radica en el uso de tecnología funcional de la Industria 4.0 haciendo de esta manera que las empresas comiencen a aprovechar todos estos avances tecnológicos, dado que, al paso de los años nos han traído soluciones funcionales a muy bajo costo.

Un propósito es la reducción del espacio ocupado por conexiones y gran volumen de las computadoras encargadas de procesar los datos; resulta importante generar un checking fixture que sea funcional y ergonómico para el operador adaptando la máquina a sus necesidades contribuyendo a su bienestar logrando generar un área de trabajo con mayor seguridad y movilidad [18].

Además de las ventajas mencionadas anteriormente este trabajo tiene la finalidad de introducir a los checking fixture en la era globalizada que se vive hoy en día permitiendo su incursión a lo que se llama hoy en día fábricas inteligentes, por consiguiente, los datos subidos al servidor de IoT podrán ser usados por las máquinas en los procesos para realizar sus conclusiones y prever futuras fallas, al igual que empleados de las empresas podrán tener acceso a esta información generada desde cualquier parte del mundo para utilizarla en sus labores; obteniendo una mayor productividad y eficiencia energética que permitirá generar redes de suministro y distribución rápidas, flexibles y resistentes a fallos [19].

Con esta implementación se busca erradicar la idea de que si un checking fixture es modificado con tecnología se pierde la precisión requerida y el precio de este se eleva debido a los altos costos de los sensores.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Implementar un checking fixture con tecnologías IoT de bajo costo que permita el mayor aprovechamiento de espacio, fácil acceso, mejor manejo de datos y mediciones precisas para su inclusión en las fábricas inteligentes.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar un checking fixture conforme a las especificaciones del GD&T.
- Seleccionar el sensor adecuado acorde a la característica geométrica a medir.
- Fabricar y ensamblar las piezas del checking fixture.
- Crear servidor y realizar pruebas del funcionamiento del prototipo.

1.4. Alcances

Este trabajo tiene como resultado el diseño y fabricación de un checking fixture que permite recabar los datos de medición geométricos y dimensionales para después procesarlos y cargarlos al servidor principal de una fábrica inteligente por medio de una tarjeta ESP8266; donde todas las máquinas que participan en el proceso de manufactura de la pieza se encuentran interconectadas por medio de este servidor en el cual obtienen los datos de las mediciones previamente hechas.

1.5. Limitaciones

En México las industrias aún no cuentan con la tecnología de la cuarta revolución industrial aplicada en sus procesos, impidiendo que los resultados cargados al servidor puedan ser utilizados en máquinas que generen sus propias correcciones al usar estos datos generados por la herramienta de calidad permitiendo solo ser visualizados por dispositivos multimedia más pequeños y utilizados por los operadores para determinar los ajustes necesarios y corregir los procesos de fabricación de la pieza.

Capítulo 2

Estado del arte

En el presente apartado se muestran los conceptos básicos del GD&T abarcando desde la definición de datums hasta la explicación de las características geométricas, logrando abarcar gran parte de los conceptos utilizados en esta tesis.

2.1. Datum

Un datum (Fig. 2.1) es un plano, eje o punto teóricamente exacto a partir del cual se realiza una medición. Una figura de datum, es una figura de la parte que hace contacto con el datum [20].



Figura 2.1: Símbolo de datum

El sistema de datums es un juego de símbolos y reglas que comunican al usuario del dibujo como se deben hacer las mediciones dimensionales, dando una secuencia de contacto ayudando a:

- Obtener mediciones dimensionales repetidas.
- Comunicar las relaciones funcionales de la parte.
- Establecer un método de inspección estandarizado.

Una función importante de los datums es limitar los grados de libertad de la pieza (Fig. 2.2) en el espacio para así definir la localización y la orientación para poder verificar una pieza.

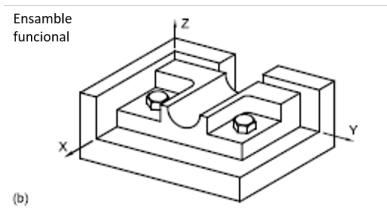


Figura 2.2: Limitación de grados de libertad.

Como se muestra en la Fig. 2.3 el primer plano de datum restringe 3 grados de libertad.

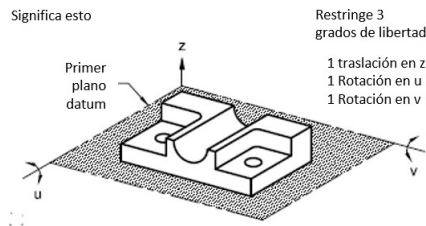


Figura 2.3: Datum primario.

Consecuentemente el segundo plano de datum permite restringir 2 grados de libertad como se muestra en la Fig. 2.4.

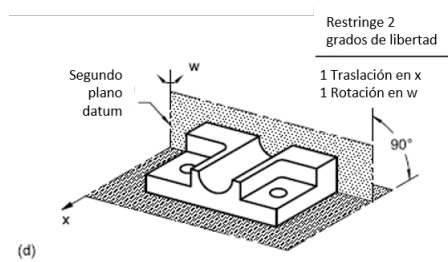


Figura 2.4: Datum secundario.

Finalmente, el tercer plano de datum elimina el grado de libertad restante como se observa en la Fig. 2.5.

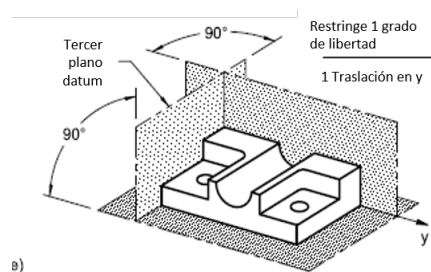


Figura 2.5: Datum terciario.

2.1.1. Tipos de datum

En la siguiente tabla se presenta los tipos de datum que existen (visualizados en tres diferentes representaciones) y los grados de libertad que restringe cada característica.

CARACTERÍSTICA TIPO	SOBRE EL DIBUJO	CARACTERÍSTICA DATUM	DATUM Y CARACTERÍSTICA DATUM SIMULADA	DATUM Y GRADOS DE LIBERTAD RESTRINGIDOS
PLANAR (a)				
ANCHO (b)				
ESFERICA (c)				
CILINDRICA (d)				
CONICA (e)				
FORMA LINEAL EXTRUIDIDA (f)				
COMPLEJA (g)				

Tabla 2.1: Grados de libertad restringidos por datum primario [21].

2.1.2. Datum target

Un datum target u objetivo (Fig. 2.6) se define como los puntos, líneas o áreas de contacto designados para el establecimiento de un datum. Su principal función es el establecer el marco de referencia de datum cuando existe una superficie irregular donde una característica de datum no pueda ser utilizada completamente [22].

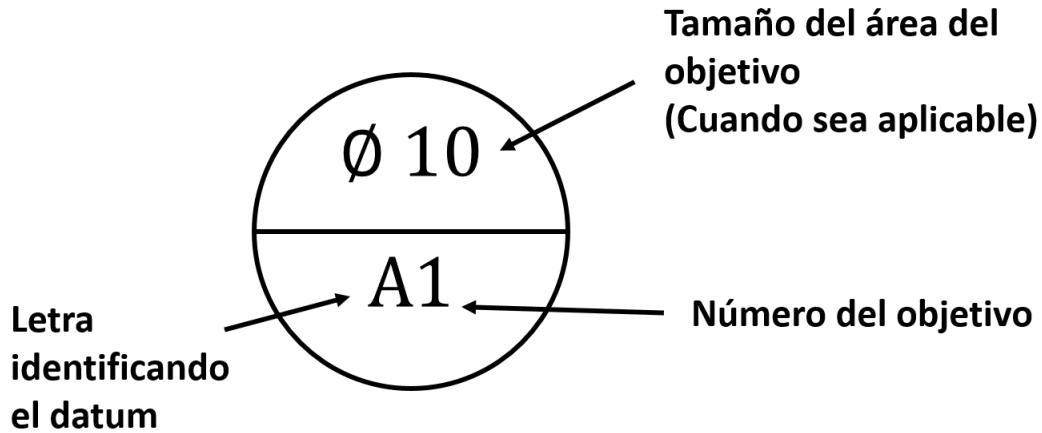


Figura 2.6: Símbolo y composición de un datum target.

Datum target punto

Se representa mediante una **X** y generalmente es simulado con un perno con punta esférica (Fig. 2.7a y 2.7b).

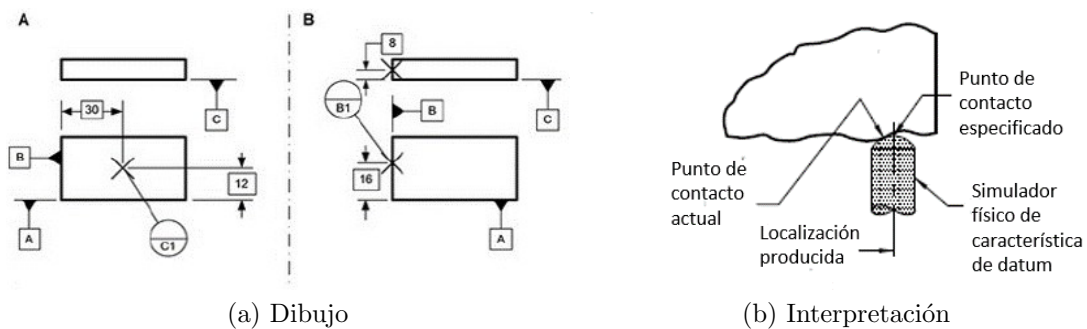


Figura 2.7: Representación target punto.

Datum target línea

Se indica en tres diferentes métodos (Fig 2.8a y 2.8b):

- Una línea de trazos en la vista superior de la superficie.
- Una **X** sobre la vista de una superficie.
- Una combinación de línea de trazos y una **X**.

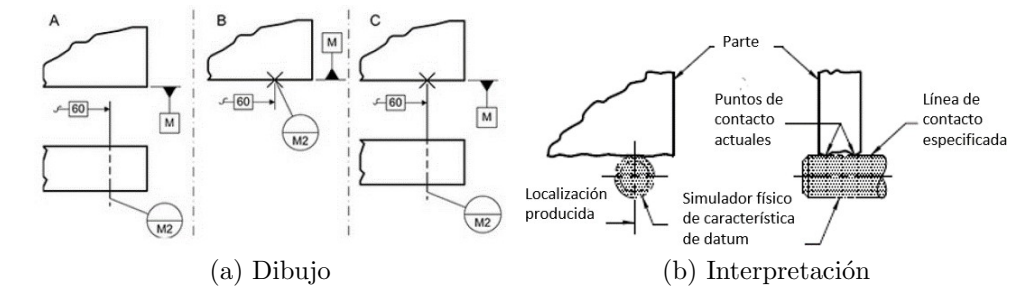


Figura 2.8: Representación target línea.

Datum target área

Se designa mediante el área de contacto que se requiere tener sobre la superficie de la parte; las áreas de contacto pueden ser rectangulares, cuadradas y diametrales (ver Fig. 2.9a y 2.9b).

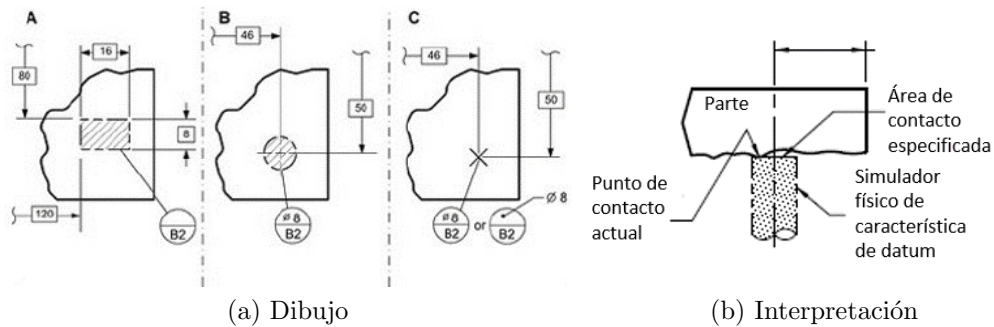


Figura 2.9: Representación target área.

2.2. Conocimiento previo de GD&T

2.2.1. Definición

- GD&T es una herramienta esencial para comunicar la intención del diseño: que las piezas de los dibujos técnicos tengan la forma, el ajuste, la función y la intercambiabilidad deseados. Al proporcionar uniformidad en las especificaciones e interpretación del dibujo [21].
- Especificaciones geométricas del producto (GPS, por sus siglas en inglés) [23].

2.2.2. Ventajas

- Mejor diseño de producto: proporciona al diseñador mejores herramientas para que diga exactamente lo que quiere y establece tolerancias de la pieza basada en sus necesidades funcionales.
- Incrementa tolerancias para producción.
- Mejor comunicación: puede proporcionar uniformidad en la especificación de dibujos y su interpretación, reduciendo discusiones, suposiciones o adivinanzas.

2.2.3. Desventajas

- Falta de capacitación.
- Malos ejemplos y aplicaciones de dibujantes.

2.2.4. Reglas generales de GD&T

Regla #1

Cuando solo se especifica una tolerancia dimensional los límites dimensionales de una figura prescriben la extensión de las variaciones permitidas tanto en su forma como en su tamaño.

Esta solo aplica a tamaño y no afecta la localización, orientación, o interrelación entre características de tamaño. Por lo tanto, la relación entre figuras individuales debe ser definidas para evitar especificaciones de dibujo incompletas.

La Figura 2.10 presenta la explicación de esta regla mediante el ejemplo de un perno el cual ensamblará en un agujero; se observa que cuando el perno se encuentra en su máxima condición de material este tiene una forma perfecta (rectitud y redondez).

En caso contrario cuando este se encuentra en su mínima condición de material se comienzan a observar errores en la forma iguales a la diferencia que hay entre el tamaño y el tamaño en su máxima condición de material.

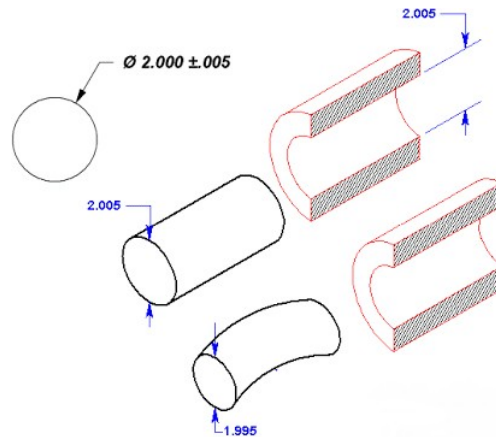


Figura 2.10: Ejemplo de aplicación de regla #1.

Regla #2

Aplica sin importar el tamaño de la característica (RFS, por sus siglas en inglés) cuando no se especifica un modificador con respecto a una tolerancia individual.

Para una tolerancia de posición se puede aplicar RFS en cuadros de control si es aplicable (Fig. 2.11).

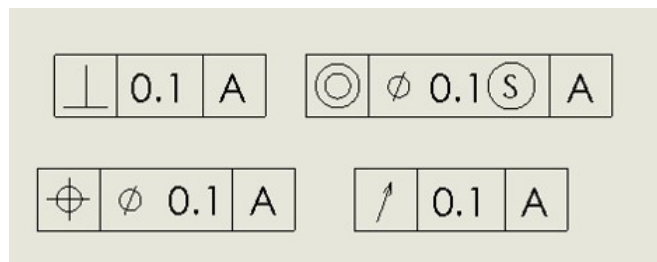


Figura 2.11: Ejemplo de aplicación de regla #2.

2.2.5. Cuadro de control geométrico

Las tolerancias geométricas y sus modificadores se emplean mediante un cuadro de control (Fig. 2.12), que es un rectángulo dividido en varias secciones donde se dibujan los símbolos de las características, valores de las tolerancias y las referencias de datum [24].

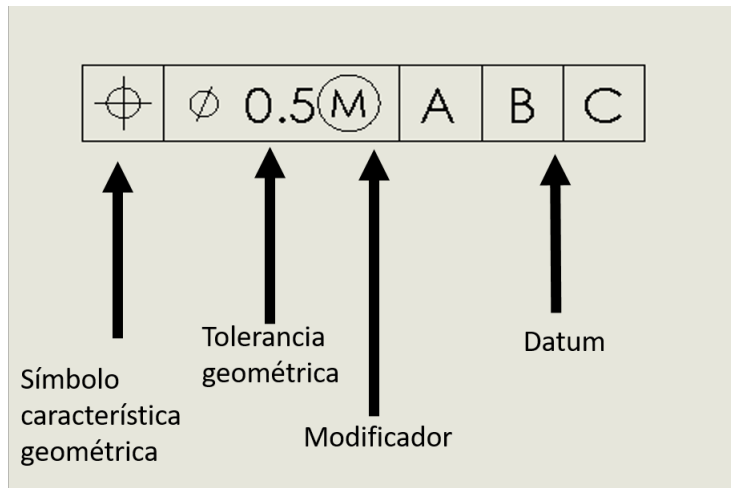


Figura 2.12: Partes de un cuadro de control geométrico.

2.3. Características geométricas

2.3.1. Simbología

Existen 14 diferentes características geométricas divididas en 5 grupos principales que permiten mantener el control geométrico de una pieza (Tabla 2.2).

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICA	SÍMBOLO	REFERENCIA A DATUM*
FORMA	PLANICIDAD		NUNCA USA REFERENCIA A UN DATUM
	LINEARIDAD		
	CIRCULARIDAD		
	CILINDRICIDAD		
ORIENTACIÓN	PERPENDICULARIDAD		SIEMPRE USA REFERENCIA A UN DATUM
	ANGULARIDAD		
	PARALELISMO		
LOCALIZACIÓN	POSICIÓN		SIEMPRE USA REFERENCIA A UN DATUM
	CONCENTRICIDAD		
VARIACIÓN	VARIACIÓN CIRCULAR		SIEMPRE USA REFERENCIA A UN DATUM
	VARIACIÓN TOTAL		
PERFIL	PERFIL DE LÍNEA		PUEDE USAR UNA REFERENCIA A DATUM
	PERFIL DE SUPERFICIE		

Tabla 2.2: Características geométricas [21].

2.3.2. Características geométricas tipo forma

Planicidad

La planicidad (Fig. 2.13) es la condición de una superficie o plano medio derivado que tiene todos los elementos en un plano perfecto.

Una tolerancia de planicidad especifica una zona de tolerancia definida por dos planos paralelos dentro de los cuales debe situarse la superficie o el plano medio derivado.



Figura 2.13: Símbolo de planicidad.

Cuando en una figura se especifica una característica dimensional a dos planos paralelos se controla indirectamente la planicidad de las superficies esto debido a la regla #1 y la dimensión de tamaño.

En el caso de que un control de planicidad sea aplicado sobre una superficie (Fig. 2.14) se deben de cumplir las condiciones presentadas:

- No lleva referencia a datum.
- No permite modificadores.
- Aplicado solo a superficies planas.
- Valor de tolerancia de planicidad debe ser menor a la tolerancia dimensional.

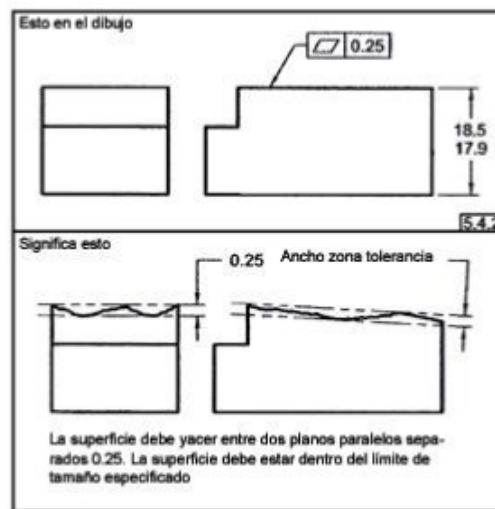


Figura 2.14: Planicidad aplicada a una superficie.

El control de planicidad puede ser aplicado también a un plano medio (Fig. 2.15) cumpliendo las siguientes condiciones:

- No lleva referencia a datum.
- Permite modificadores.
- Aplicado a dos superficies paralelas que generen un plano medio.
- Valor de tolerancia de planicidad puede ser mayor a la tolerancia dimensional.

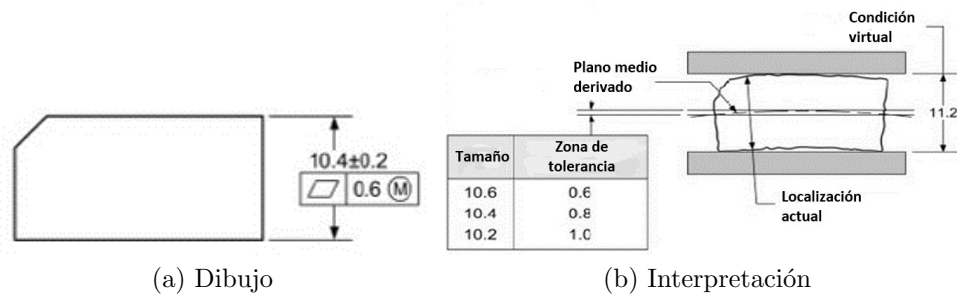


Figura 2.15: Control de planicidad aplicado en plano medio.

Rectitud

La rectitud (Fig. 2.16) es la condición donde un elemento de una superficie o línea media derivada, es una línea recta [25].



Figura 2.16: Símbolo de planicidad.

La regla #1 controla indirectamente el error de rectitud tanto en su superficie como en su eje; la zona de tolerancia está conformada por dos líneas rectas paralelas separadas equitativamente. La característica geométrica de rectitud puede ser aplicada a una superficie (Fig. 2.17) siguiendo las siguientes condiciones:

- Solo controla la superficie donde es indicada.
- No hace referencia a un datum.
- No usa modificadores M o L.
- Tolerancia geométrica menor a tolerancia dimensional.

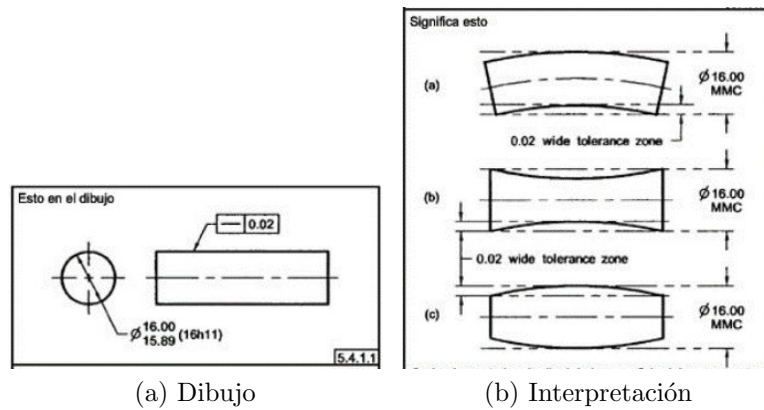


Figura 2.17: Control de rectitud aplicado en superficie.

Cuando un control de rectitud es aplicado a un eje (Fig. 2.18) este debe de cumplir las siguientes características:

- Tolerancia geométrica puede ser mayor a la tolerancia dimensional.
- No hace referencia a un datum.
- Se puede usar modificadores M o L.

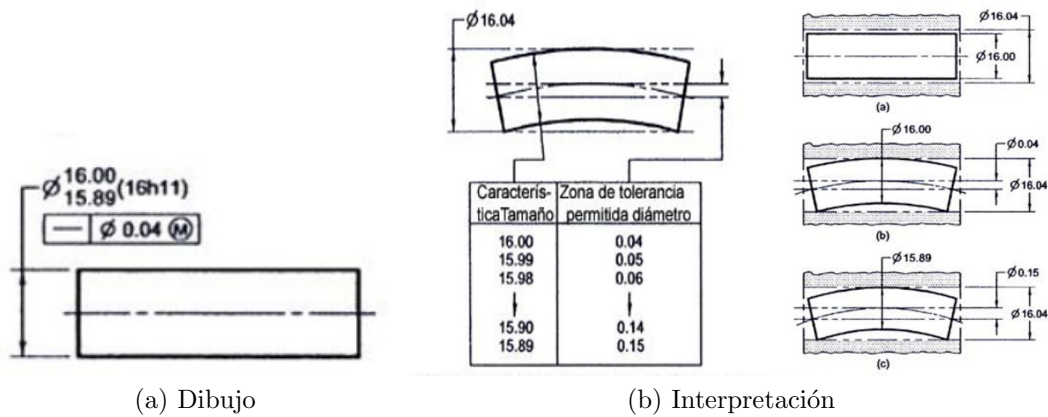


Figura 2.18: Control de rectitud aplicado a eje.

2.3.3. Redondez o circularidad

La redondez o circularidad (Fig. 2.19) es una condición en la cual todos los puntos de un círculo, en cualquier sección perpendicular tienen la misma distancia al eje común.

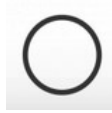


Figura 2.19: Símbolo de redondez.

La zona de tolerancia está formada por dos círculos concéntricos y esta característica geométrica puede ser aplicada en figuras que contengan una sección transversal diametral.

Para hacer válido un control de redondez (Fig. 2.20) se deben de cumplir las siguientes condiciones:

- No va referenciado a un datum.
- No se puede especificar modificadores.
- Aplicado una figura diametral.
- El valor de la tolerancia geométrica debe ser menor que la tolerancia dimensional.

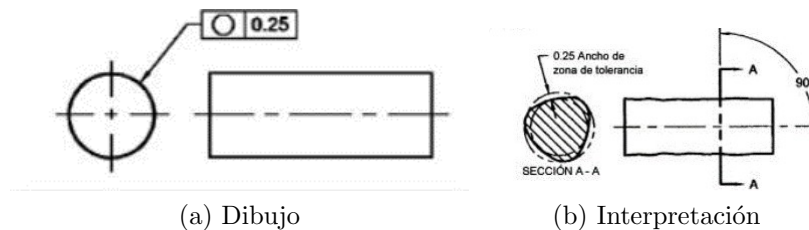


Figura 2.20: Control de redondez.

Cilindricidad

La cilindridad (Fig. 2.21) es una condición de una figura de revolución en la cual todos los puntos de la superficie son equidistantes de un eje en común en toda su longitud.



Figura 2.21: Símbolo de cilindridad.

La zona de tolerancia está conformada por dos cilindros coaxiales con una diferencia de radios del valor de la tolerancia.

Para aplicar un control de cilindridad (Fig. 2.22) se debe cumplir con las siguientes condiciones:

- No va referenciado a un datum.
- No se especifica modificadores.
- Aplicado a una figura cilíndrica.
- Valor de la tolerancia de cilindridad debe ser menor que cualquier control geométrico que limita la cilindridad de la figura.

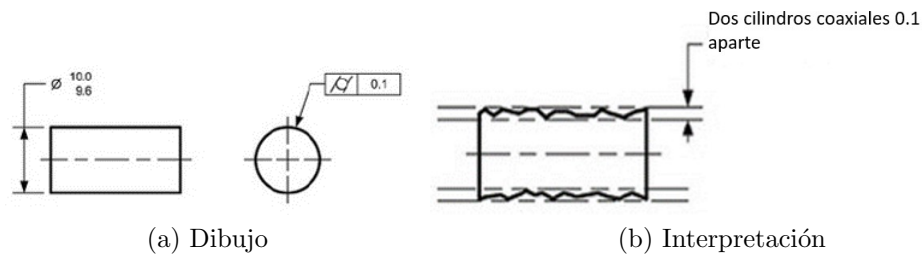


Figura 2.22: Control de cilindridad.

2.3.4. Características geométricas tipo orientación

Paralelismo

El paralelismo (Fig. 2.23) es la condición de una superficie, eje o plano medio que se encuentra equidistante a una referencia (datum) en toda su longitud, se puede controlar implícitamente con la tolerancia dimensional y la regla #1.



Figura 2.23: Símbolo de paralelismo.

Un control de paralelismo puede ser aplicado a una superficie (Fig. 2.24) si cumple las siguientes condiciones:

- La zona de tolerancia son dos planos paralelos.
- La zona de tolerancia se ubica dentro de los límites de la dimensión.
- El valor de la tolerancia geométrica de paralelismo define la distancia entre los planos de la zona de tolerancia.
- No se aplica modificadores.
- Referenciado a un datum.

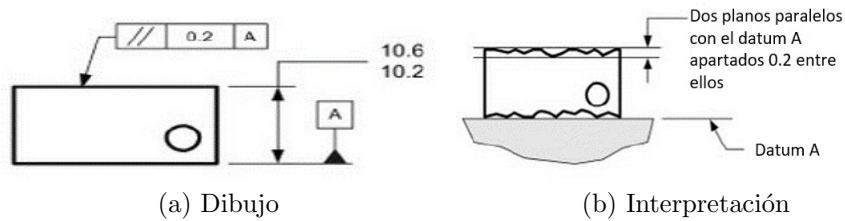


Figura 2.24: Control de paralelismo en una superficie.

Un control de paralelismo también puede ser aplicado a una FOS (Fig. 2.25) siguiendo las condiciones que se muestran a continuación:

- Zona de tolerancia puede ser un cilindro, dos planos paralelos al plano de datum.
- El valor de la zona de tolerancia del control de paralelismo define el diámetro o ancho de la zona de tolerancia del cilindro o planos.
- El eje del diámetro debe estar dentro de la zona de tolerancia.
- La condición virtual será afectada.

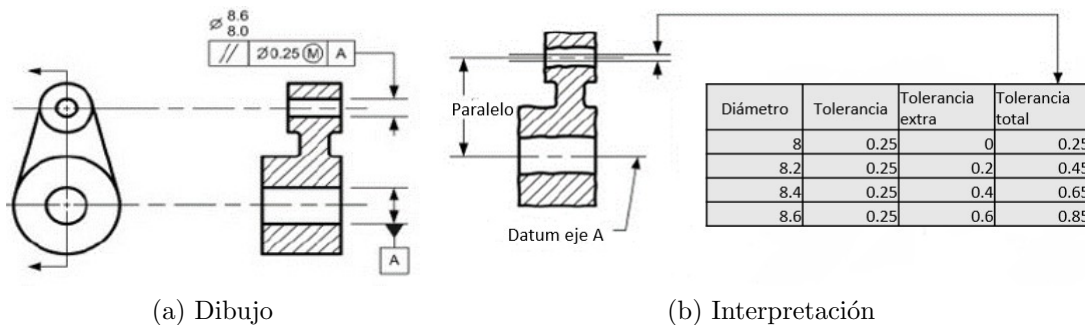


Figura 2.25: Control de paralelismo en FOS.

Perpendicularidad

La perpendicularidad (Fig. 2.26) es la condición que resulta cuando una superficie, eje o el plano central tiene exactamente 90° con respecto al datum. Por lo tanto, un control de perpendicularidad es la tolerancia geométrica que limita la cantidad que se permite que una superficie, eje o plano central puede variar.



Figura 2.26: Símbolo de perpendicularidad.

Un control de perpendicularidad puede ser aplicado a una superficie (Fig. 2.27) siguiendo las siguientes recomendaciones:

- La zona de tolerancia son dos planos paralelos perpendiculares al plano de datum.
- La distancia entre los dos planos es igual al valor de la zona de tolerancia de perpendicularidad.
- Todos los elementos de la superficie deben estar adentro de la zona de tolerancia.
- No se usa modificadores.

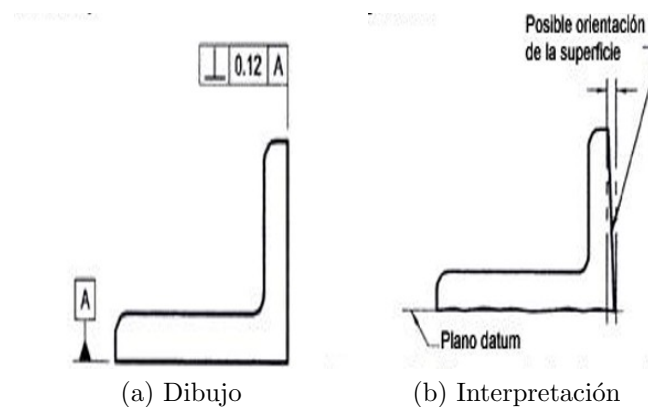


Figura 2.27: Control de perpendicularidad en superficie.

En el caso de que el control de perpendicularidad sea aplicado a una FOS (Fig. 2.28) se plantean las siguientes condiciones para que este sea válido:

- La zona de tolerancia es un cilindro o dos planos que son perpendiculares al plano de datum.
- El valor de tolerancia del control de perpendicularidad define el diámetro o el ancho del cilindro de la zona de tolerancia.

- El eje del diámetro o en plano medio debe estar dentro de la zona de tolerancia.
- Se usan modificadores.

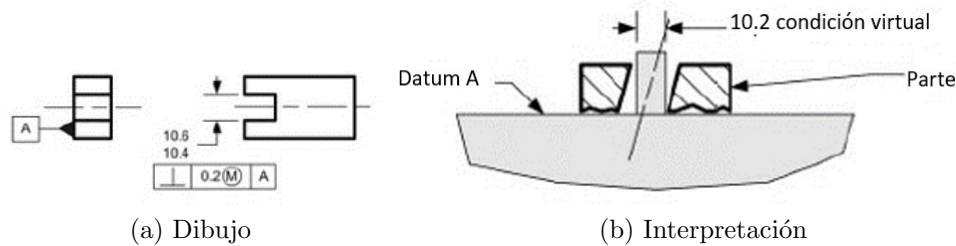


Figura 2.28: Control de perpendicularidad en FOS.

Angularidad

Angularidad (Fig. 2.29) es la condición de una superficie, plano central o eje estando exactamente a un ángulo especificado (a excepción de 90°).



Figura 2.29: Símbolo de angularidad.

El control de angularidad puede ser aplicado a una superficie (Fig. 2.30) correctamente siguiendo las condiciones presentadas a continuación:

- La forma de la zona de tolerancia son dos planos paralelos.
- El valor de tolerancia geométrica es el valor de la distancia entre los planos.
- Todos los elementos de la superficie deben de estar adentro de la zona de tolerancia.
- La zona de tolerancia se orienta con relación al plano de datum por un ángulo básico.
- La zona de tolerancia se orienta con relación al plano de datum por un ángulo básico.

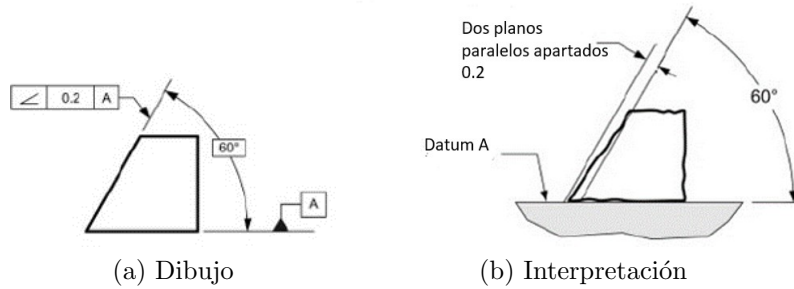


Figura 2.30: Control de angularidad en superficie.

En el caso donde el control de angularidad sea aplicado a una FOS (Fig. 2.31) las siguientes condiciones son válidas:

- Se controlará el eje.
- La forma de tolerancia es un cilindro.
- El valor de tolerancia del control de angularidad define diámetro del cilindro de tolerancia.
- El eje de la figura con tolerancia debe estar dentro de la zona de tolerancia.
- La zona de tolerancia se orienta con relación al plano de datum por un ángulo básico.
- No usa modificador.

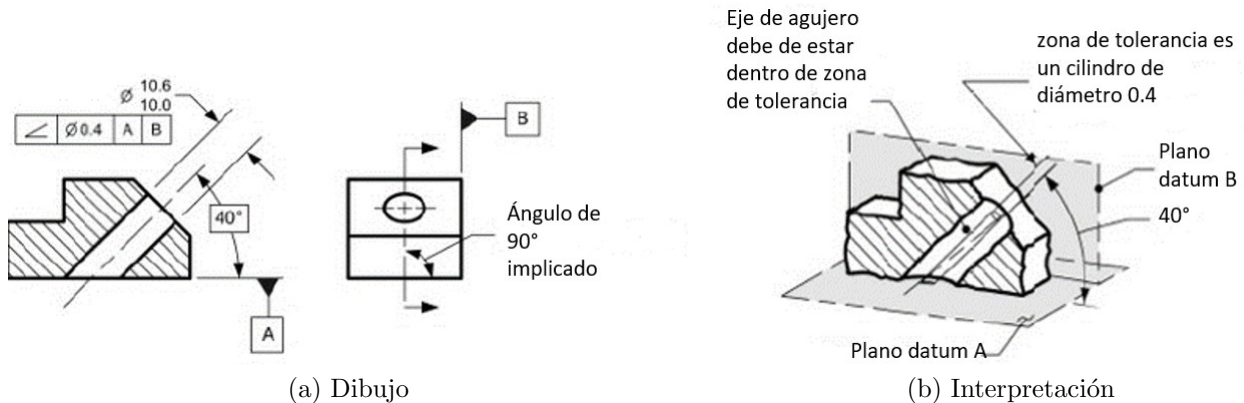


Figura 2.31: Control de angularidad en FOS.

2.3.5. Características geométricas tipo localización

Concentricidad

La concentricidad (Fig. 2.32) es la condición donde los puntos medios de todos los elementos opuestos diametralmente de una superficie de revolución son congruentes con un punto o eje de referencia (datum).



Figura 2.32: Símbolo de concentricidad.

Para que un control de concentricidad (Fig. 2.33) sea aplicado correctamente debe cumplir con las siguientes condiciones:

- El cuadro de control de figura debe aplicarse a una superficie de revolución que es coaxial al eje de datum.
- Se requieren referencias de datum.
- Las referencias de datum deben asegurar que se establece un eje de datum válido.
- Zona de tolerancia diametral.
- No permite modificadores.

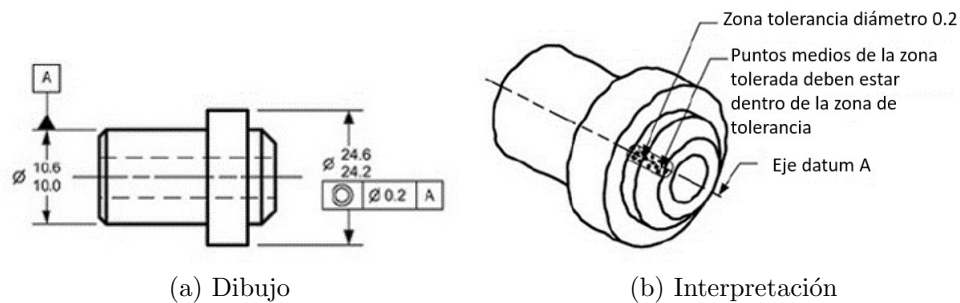


Figura 2.33: Control de concentricidad.

Simetría

La simetría (Fig. 2.34) es la condición donde los puntos medios de todos los elementos opuestos de dos o más superficies de figura son congruentes con el eje o el plano central de una figura de datum.



Figura 2.34: Símbolo de simetría.

Un control de simetría (Fig. 2.35) es válido cuando se cumplen las siguientes condiciones:

- No permite modificadores.
- Se requiere referencia a un datum.
- Zona de tolerancia 2 planos paralelos centrados alrededor de un plano central.

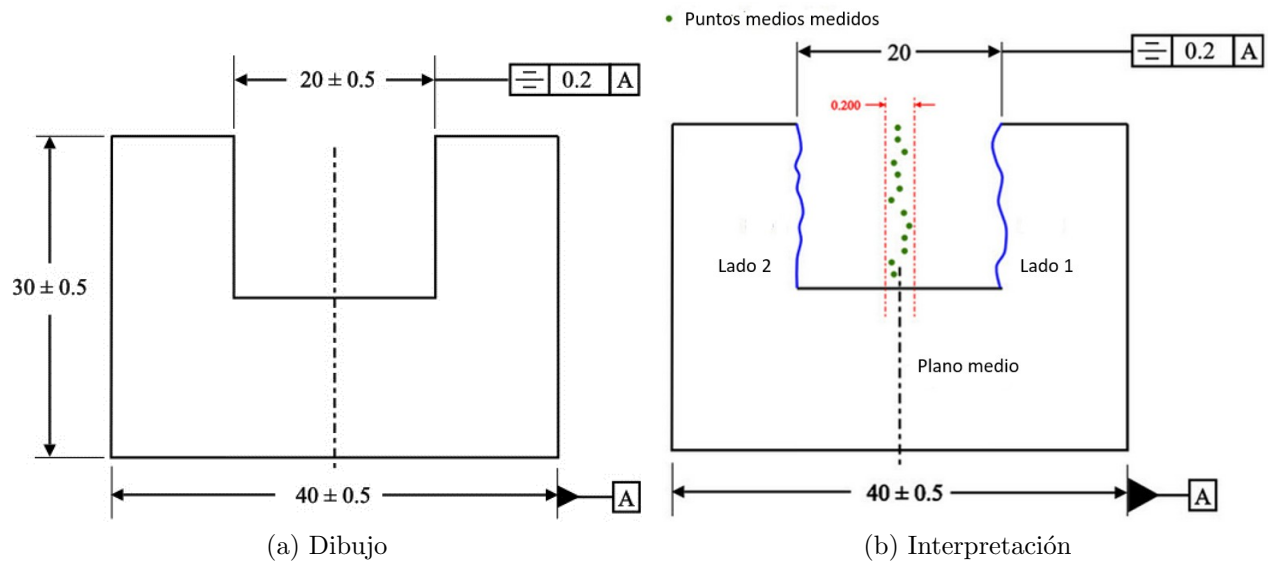


Figura 2.35: Control de simetría.

Posición verdadera

La posición verdadera (Fig. 2.36) es la localización teóricamente exacta de una característica dimensional según se define por las dimensiones básicas; Siempre que se especifique un control de posición, la localización teóricamente exacta del eje o el plano central de la figura dimensional debe definirse con dimensiones básicas.



Figura 2.36: Símbolo de posición verdadera.

Para que un control de posición verdadera (Fig. 2.37) sea efectivo debe de cumplir con las siguientes características:

- Debe de aplicar a una característica dimensional (FOS).

- Referenciado a un datum.
- Permite el uso de modificadores.
- Dimensiones básicas para establecer posición ideal.

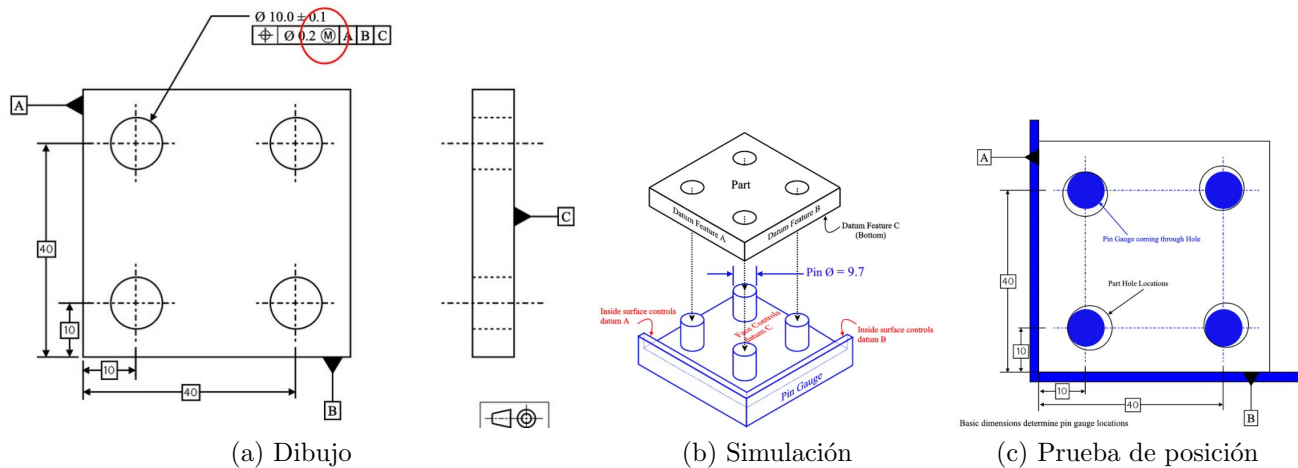


Figura 2.37: Ejemplo de control de posición verdadera.

2.3.6. Características geométricas tipo variación o cabeceo

Cabeceo circular

El cabeceo circular (Fig. 2.38) es un control compuesto que afecta la forma, orientación y la localización de elementos circulares (individualmente) de una figura con relación a un datum [26].

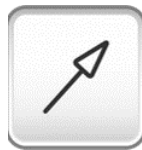


Figura 2.38: Símbolo de cabeceo circular.

Para que un control de cabeceo circular (Fig. 2.39) sea correctamente aplicado se debe cumplir con las siguientes condiciones:

- No se usan modificadores.
- No lleva símbolo de diámetro.
- Zona de tolerancia dos círculos coaxiales centrados en el eje datum.

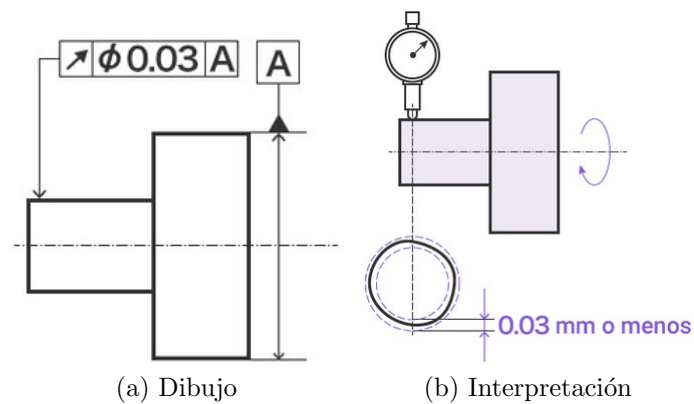


Figura 2.39: Control de cabeceo circular.

Cabeceo circular total

El cabeceo circular total (Fig. 2.40) es un control compuesto que afecta la forma, la orientación y la localización de los elementos de una superficie o diámetro con relación al eje de datum.



Figura 2.40: Símbolo de cabeceo circular total.

Un control de cabeceo total (Fig. 2.41) es aplicado correctamente cuando cumple de manera correcta con las siguientes condiciones:

- Referencia a un datum (eje).
- No lleva modificador.
- Aplica RFS.

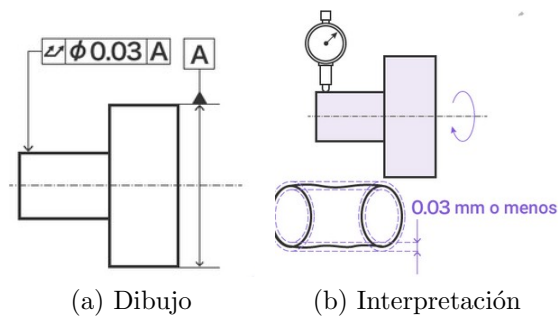


Figura 2.41: Control de cabeceo circular total.

2.3.7. Características geométricas tipo perfil

Perfil de línea/superficie

El perfil de línea (Fig. 2.42a) describe una zona de tolerancia de dos dimensiones alrededor de una línea de cualquier figura, usualmente usado en forma curvas [27].

A diferencia del concepto anterior el perfil de superficie (Fig. 2.42b) describe una zona de tolerancia de tres dimensiones alrededor de una superficie, todos los puntos de la superficie deben de caer dentro de la zona de tolerancia cuyo tamaño está especificado por la tolerancia del cuadro de control geométrico [28].

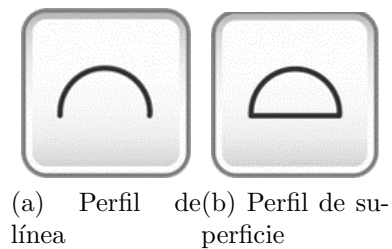


Figura 2.42: Simbología de características geométricas tipo perfil.

Para que ambas características de tipo perfil (Fig. 2.43 y Fig. 2.44) sean correctamente aplicados deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Puede especificarse con una referencia de datum o sin datum.
- Sin modificador.
- Definido con dimensiones básicas.
- Si es definido con dimensiones con tolerancia, la tolerancia de perfil debe ser un refinamiento del valor de la tolerancia dimensional.

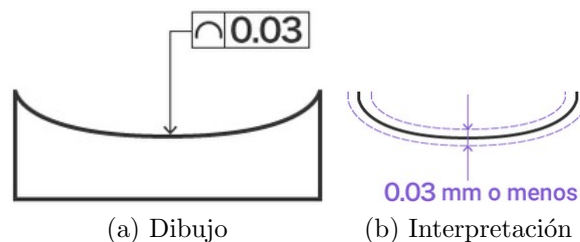


Figura 2.43: Control de perfil de línea.

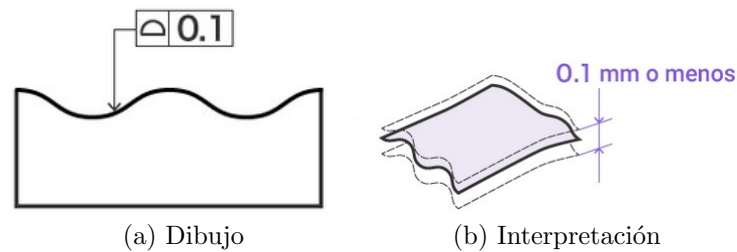


Figura 2.44: Control de perfil de superficie.

2.4. IoT (Internet de las Cosas)

2.4.1. Definición

Actualmente IoT es un término que escuchamos en el día a día y se refiere a la interconexión de elementos cotidianos con el internet esto con el objetivo de lograr una fácil interacción con el usuario.

El IoT aplicado en el sector privado se ha propuesto objetivos ambiciosos tales como su uso en la producción en masa, control de infraestructura urbana y una de las más importantes el sector salud; permitiendo obtener grandes beneficios como dispositivos más eficientes y una mejor optimización de recursos [29].

2.4.2. ESP8266

Es un chip integrado con un microcontrolador para manejar el protocolo TCP/IP y el software necesario para la conexión 802.11, la mayoría de modelos dispone de entradas/salidas (I/O) digitales y algunos modelos una entrada analógica al igual que otros microcontroladores, gracias a su bajo costo y su uso en gran cantidad de aplicaciones ha comenzado a ganar gran popularidad en la era del IoT.

El ESP8266 tiene potentes capacidades a bordo de procesamiento y almacenamiento que le permiten integrarse con sensores y dispositivos específicos de aplicación a través de sus GPIO's con un desarrollo mínimo y carga mínima durante el tiempo de ejecución. Su alto grado de integración en el chip permite una circuitería externa mínima, y la totalidad de la solución, incluyendo el módulo está diseñado para ocupar el área mínima en un PCB [30].

Este dispositivo cuenta con las siguientes especificaciones:

- Voltaje de Alimentación de 5 VDC.
- Voltaje de Entradas/Salidas de 3.3 VDC.
- CPU: Tensilica Xtensa LX3 (32 bit).
- Pines Digitales GPIO: 17 (pueden configurarse como PWM a 3.3V).

- Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP.
- Stack de Protocolo TCP/IP integrado.
- 802.11 b/g/n.
- Chip USB-Serial: CH340G.

En la siguiente figura se muestra la distribución de pines de la tarjeta ESP8266.

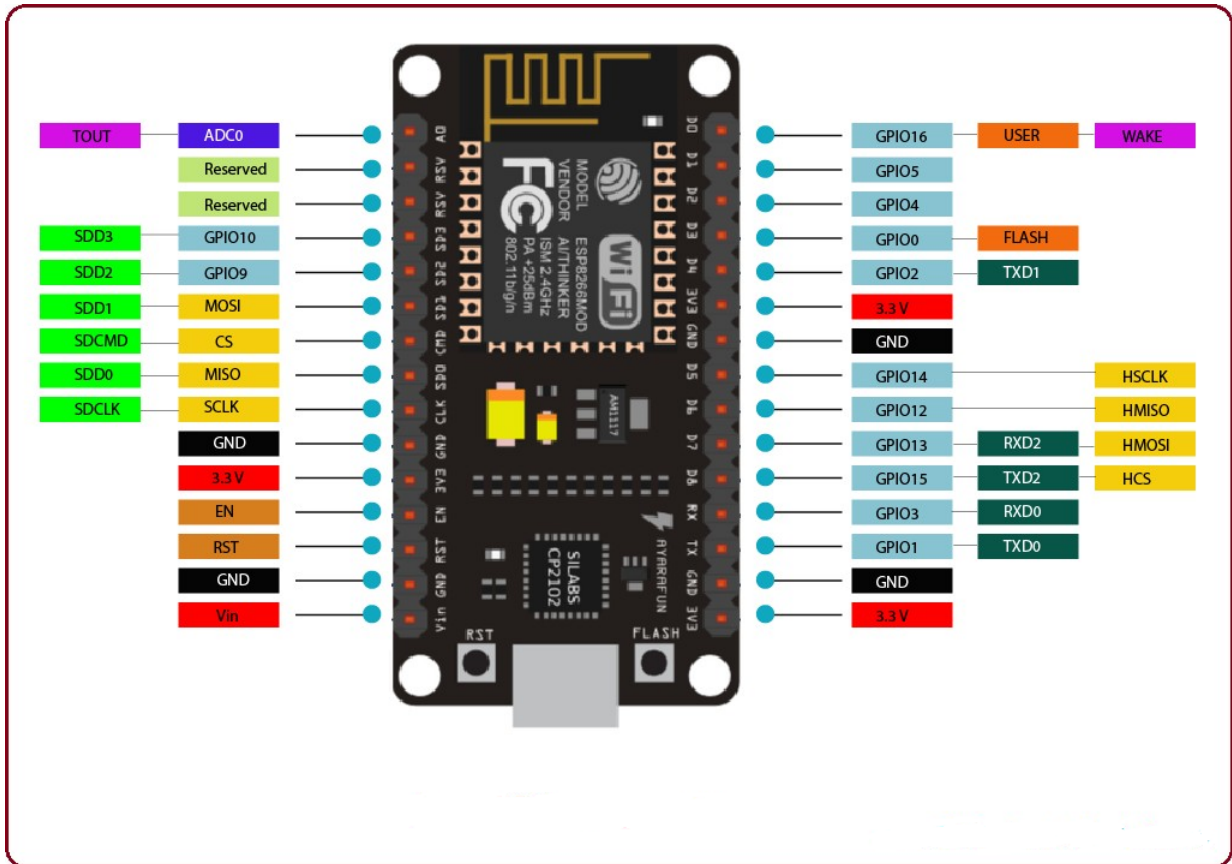


Figura 2.45: Configuración de pines de la tarjeta ESP8266.

Capítulo 3

Desarrollo

En el presente apartado se muestra la planeación realizada previamente antes de comenzar a realizar el diseño del checking fixture, los materiales requeridos para la fabricación de cada una de las piezas, el diagrama de flujo en el cual se basó la programación de la tarjeta y el diagrama que muestra la distribución de conexiones entre la tarjeta de programación ESP8266 y los sensores.

3.1. Diseño

3.1.1. Requerimientos

El diseño de un checking fixture se crea a partir de una pieza entregada por un fabricante que requiere un control de calidad para su producción en masa, de esta forma asegura su ensamblaje con otros componentes de manera exitosa.

La pieza asignada para este proyecto es un bracket (Fig. 3.1) que sirve como elemento de soporte y fijación para dar la dirección adecuada a un arnés eléctrico de las conexiones de un automóvil.

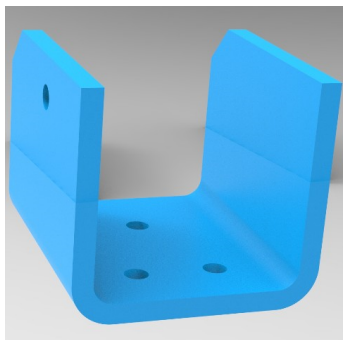
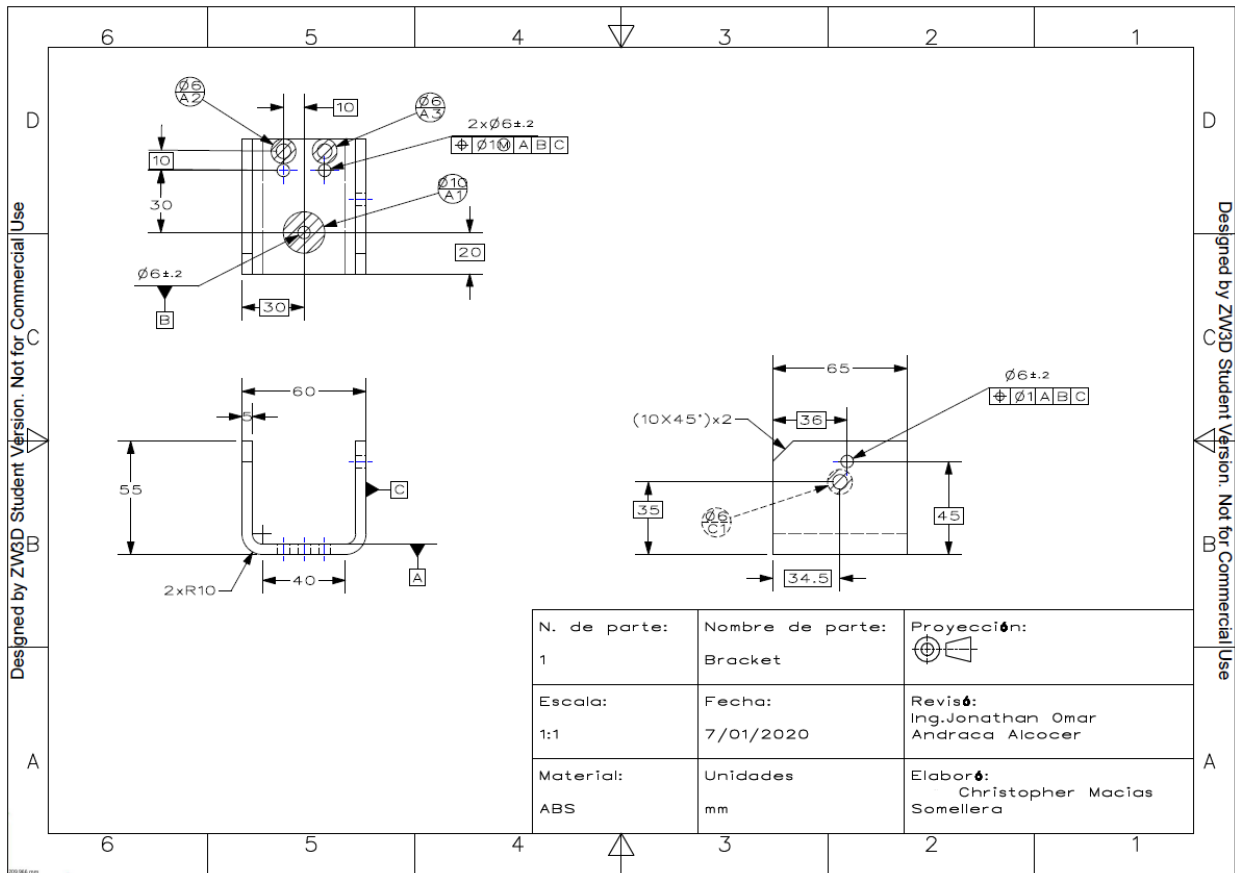


Figura 3.1: Pieza de trabajo.

A continuación se muestra el plano donde se nos especifica los requerimientos principales que requiere el checking fixture.



Plano de pieza de trabajo.

Realizando el análisis del plano se concluye con los siguientes puntos:

- El plano nos presenta las coordenadas y distribución de cada uno de los datums necesarios para poder realizar el sistema de fijación de la pieza.
- Se obtienen los valores de las tolerancias dimensionales para realizar los cálculos del gage go-no go y de la característica geométrica a evaluar junto con sus valores de tolerancias geométricas para realizar el cálculo de la punta localizadora.

3.1.2. Cálculos

Gage go-no go

El cálculo del diámetro de la punta del gage go (Fig. 3.2) se calcula con la siguiente fórmula obtenida del manual de diseño de dispositivos de control [5]:

$$\varnothing GageGo = \varnothing Nominal - TolDim \quad (3.1)$$

Donde:

$\varnothing GageGo$: Diámetro de gage go.

$\varnothing Nominal$: Diámetro nominal de agujero.

$TolDim$: Tolerancia dimensional mostrada en plano.

Al sustituir los datos se tiene el siguiente resultado:

$$\varnothing GageGo = 6mm - 0,2mm = 5,8mm \quad (3.2)$$

En el caso del cálculo del diámetro del gage no go se utiliza la siguiente ecuación:

$$\varnothing GagenoGo = \varnothing Nominal + TolDim \quad (3.3)$$

Donde:

$\varnothing GagenoGo$: Diámetro de gage no go.

$\varnothing Nominal$: Diámetro nominal de agujero.

$TolDim$: Tolerancia dimensional mostrada en plano.

Al sustituir los datos se tiene el siguiente resultado:

$$\varnothing GagenoGo = 6mm + 0,2mm = 6,2mm \quad (3.4)$$

El diseño del gage completo quedo de la siguiente manera:

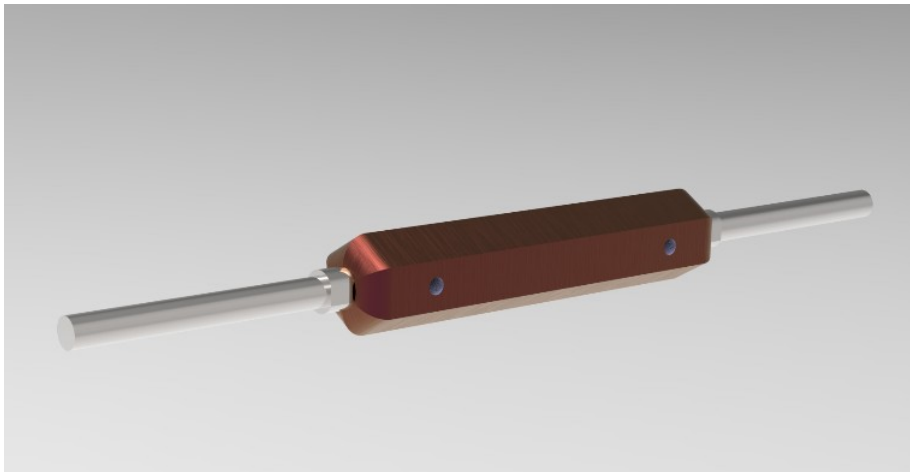


Figura 3.2: Gage go-no go.

Punta localizadora

Para el cálculo del diámetro de la punta localizadora (Fig. 3.3) y el diámetro interior del buje que alojara esta punta se utiliza la sig. ecuación obtenida del manual de diseño de dispositivos de control [5]:

$$\varnothing PL = \varnothing MMC - Tolgeo \quad (3.5)$$

Donde:

$\varnothing PL$: Diámetro de punta localizadora.

$\varnothing MMC$: Diámetro de agujero en máxima condición de material.

Tolgeo: Tolerancia geométrica mostrada en cuadro de control geométrico del barreno indicado en el plano del bracket.

Al sustituir los datos se tiene el siguiente resultado:

$$\varnothing PL = 5,8mm - 1mm = 4,8mm \quad (3.6)$$

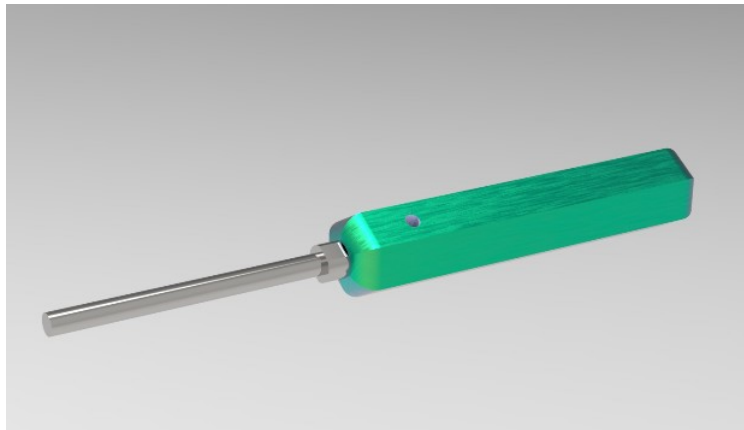


Figura 3.3: Punta localizadora.

3.1.3. Ensamble

Con todos estos requerimientos, cálculos y ergonomía del usuario en cuenta se desarrolla el checking fixture (Fig. 3.4 y Fig. 3.5) y a continuación se muestra la distribución de sus torres de anclaje, alojamientos de puntas y gages sobre la placa base.

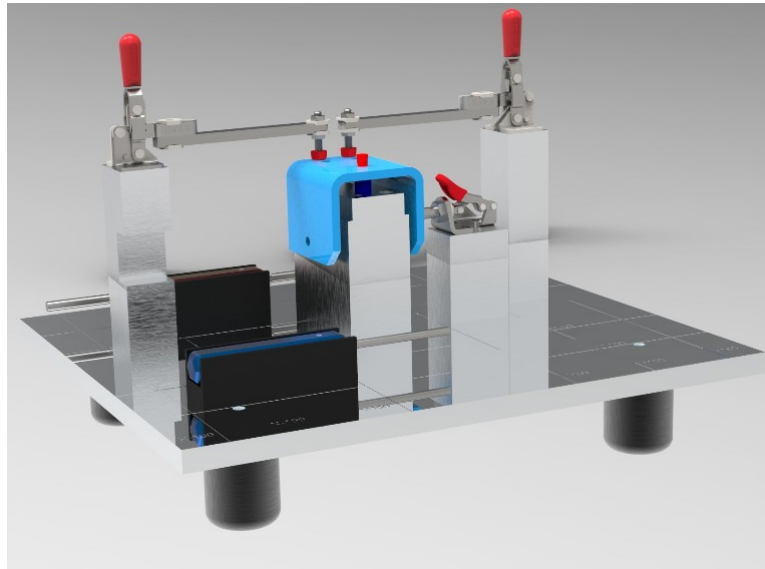


Figura 3.4: Vista isométrica.

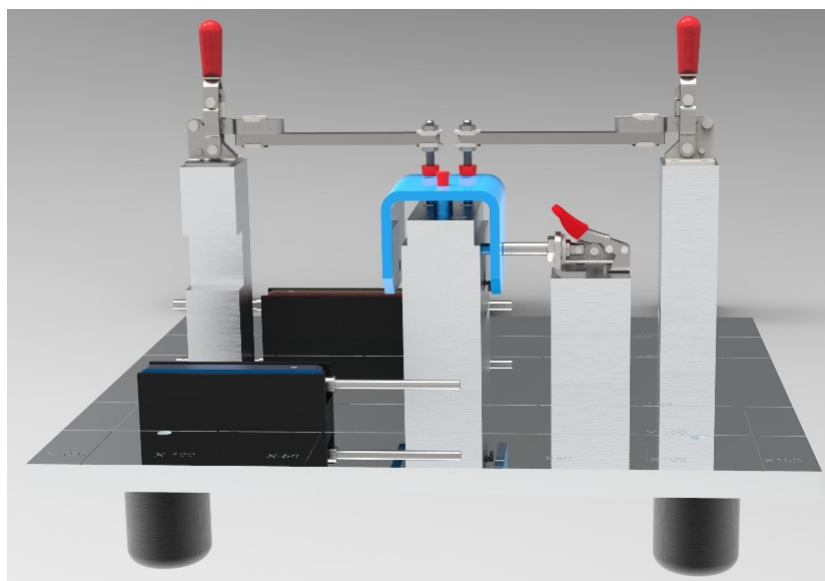


Figura 3.5: Vista frontal.

3.2. Fabricación

3.2.1. Materiales

Número de pieza	Cantidad	Nombre de pieza	Vista	Material
001	1	Bracket		ABS
002	1	Placa base		Aluminio 6061
003	2	Extensor clamp		SAE 1040
004	4	Soporte de placa		SAE 1040
101	1	Torre 1		Aluminio 6061

Sigue en la página siguiente.

Número de pieza	Cantidad	Nombre de pieza	Vista	Material
102	1	Base clamp		Aluminio 6061
103	1	Base clamp 2		Aluminio 6061
104	1	Base clamp c		Aluminio 6061
201	1	Bloque 1		Aluminio 6061

Sigue en la página siguiente.

Número de pieza	Cantidad	Nombre de pieza	Vista	Material
301	3	Buje localizador		SAE 1040
401	2	Alojamiento puntas		Nylamid
402	1	Mango punta		Aluminio 6061
403	1	Punta localizadora		SAE 1040
404	1	Punta go		SAE 1040
405	1	Punta no go		SAE 1040

Sigue en la página siguiente.

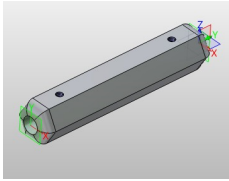
Número de pieza	Cantidad	Nombre de pieza	Vista	Material
406	1	Mango gage		Aluminio 6061

Tabla 3.1: Lista de materiales de piezas de checking fixture.

Código de número de pieza:

- 0xx Piezas misceláneas.
- 1xx Torres.
- 2xx Bloques.
- 3xx Bujes.
- 4xx Piezas de localizadores y gages.

3.2.2. Maquinado

En la Fig. 3.6 se muestra el proceso de maquinado de la placa base siendo una de las piezas que requiere de mayor precisión al momento de su fabricación, para evitar que existan desniveles a lo largo de la superficie de la placa que puedan afectar a las mediciones y al ensamble de las torres se aplica un control de planicidad con tolerancias geométricas de 0.15 mm esto para tener una superficie con medidas constantes y dentro de un rango de valores que no afecten al proceso de medición del prototipo.

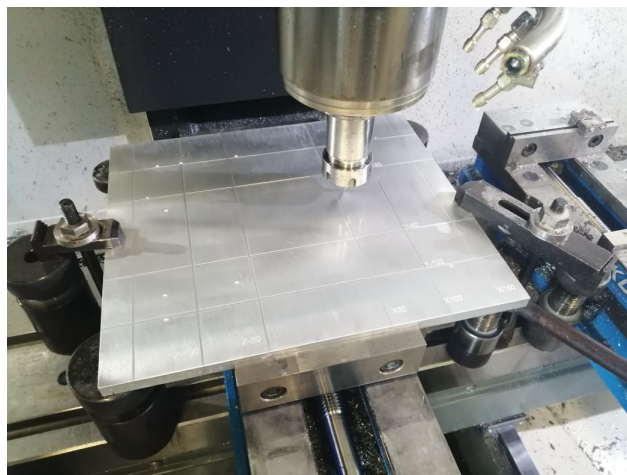


Figura 3.6: Fresado de placa base.

Otra de las piezas importantes es la torre que llevara los sensores de medición (Fig. 3.7), la cual requiere de un maquinado muy preciso, ya que en sus especificaciones se manejan ajustes ISO de sus barrenos debido a que se ensamblaran bujes y pernos que ayudan a guiar la punta de localización al sensor. La configuración utilizada para los ajustes ISO es una configuración H7/g6 esto permite que los bujes y los pernos puedan ser ensamblados de manera adecuada evitando un ensamble muy forzado que pueda dañar las piezas e incluso romperlas gracias a que este ajuste seleccionado es de juego libre justo entre las dos contrapartes.

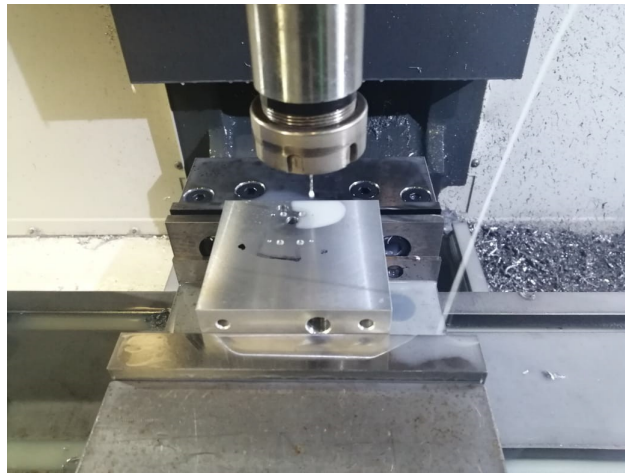


Figura 3.7: Maquinado de torre principal.

Las piezas a medir se fabricaron por medio del proceso de impresión 3D (Fig. 3.8) mediante tres impresoras diferentes para que hubiera variación en cada una estas y así poder obtener resultados diversos a la hora de efectuar las mediciones.



Figura 3.8: Proceso de impresión 3D.

Modelo	Form 3	Anycubic Mega Pro	Creality Ender 3 Pro
Volumen de construcción	14.5 x 14.5 x 18.5 cm	21 x 21 x 20.5 cm	22 x 22 x 25 cm
Velocidad de impresión	80 mm/s	60 mm/s	100 mm/s
Precisión eje XY	25 micras	12.5 micras	100 micras
Precisión eje Z	25 micras	2 micras	100 micras
Espesor de capa	300 micras	50 micras	350 micras

Tabla 3.2: Especificaciones técnicas impresoras 3D.

En la tabla anterior se presentan las especificaciones técnicas que pueden aportar variación al proceso de impresión 3D de cada una de las impresoras que se utilizaron para fabricar los mensurandos.

3.3. Instrumentación

3.3.1. Sensores

Sensor de inducción LJ8A3-2-Z/BX

El sensor LJ8A3-2-Z/BX (Fig. 3.9) fue seleccionado para la detección de la localización de los barrenos de la cara superior del bracket teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- La detección de objetos metálicos por medio de la variación de la frecuencia de campo magnético generado por el sensor, es de gran ayuda porque la punta de localización está fabricada de acero.
- La distancia mínima de detección es de 2 mm.
- Con una medida de M8x50 resulta fácil posicionarlo dentro de las torres del checking fixture de esta manera evita las colisiones con el mensurando y los clamps.
- Tiene un consumo 5 VCD permitiendo trabajar con una fuente de tamaño pequeño.



Figura 3.9: Sensor LJ8A3-2-Z/BX.

En la Fig. 3.10 se observa la ubicación de los dos sensores inductivos que se encuentran dentro de la torre central de medición, cada uno a 3 mm de distancia de los bujes que ayudan a guiar la punta localizadora hacia el sensor, esto para evitar que el sensor detecte el buje debido a que está fabricado por acero y de esta manera evitar una falsa detección de la punta de localización. Mientras en la misma imagen podemos observar una simulación de la punta localizadora realizando un contacto con el sensor inductivo mostrando como sería una medición de los barrenos de la cara superior.

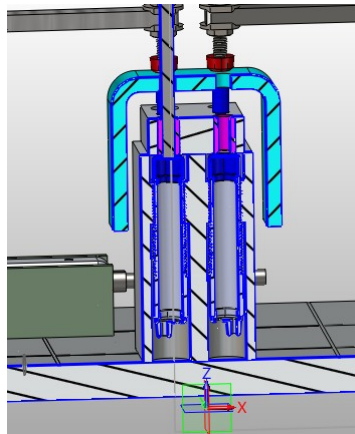


Figura 3.10: Localización de sensor inductivo.

Para la selección del sensor que efectuará la medición de los dos barrenos de la parte superior de la pieza se realizó la comparación del sensor inductivo seleccionado con otros sensores que se muestran en la Tabla 3.2, de esta tabla se descartó ambos sensores, ya que la distancia mínima de detección de un objeto es demasiado grande y la resolución que buscamos en los sensores es de 5 mm como máximo. También otro motivo para descartar el sensor de proximidad es su gran tamaño debido a que requiere de gran espacio y si lo posicionamos en la torre central los barrenos realizados colisionarían entre ellos.

Sensores		
	Sensor de proximidad E18d80nk	Sensor láser ky-008
Voltaje de alimentación	5V	3V-5V
Resolución	30 mm	150 mm
Tamaño	Ø18 mm x 50 mm	10.5 x 13.3 mm
Corriente	20 mA	40 mA
Tipo de sensor	Infrarrojo	Láser

Tabla 3.3 Comparativa de sensores superiores.

Sensor capacitivo touchless

La tarea del sensor TTP223B (Fig. 3.11) consiste en detectar la entrada de la punta de localización sobre el barreno de la cara lateral del bracket, para la elección del sensor se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- A partir de la variación de la capacitancia logra un funcionamiento similar a un switch pero sin elementos mecánicos evitando un desgaste muy rápido del sensor.
- Voltaje de entrada de 5 VCD logrando trabajar con la fuente de alimentación de la tarjeta.
- Tamaño de 2.4 cm x 2.4 cm
- Respuesta de 60 ms.
- Cuenta con un modo de ahorro de energía.



Figura 3.11: Sensor TTP223B.

En la Fig. 3.12 se muestra la localización del sensor capacitivo en el diseño del checking fixture, este sensor se encuentra ubicado en la cara lateral de la torre principal a una distancia de 5 mm del mensurando para evitar una colisión, al mismo tiempo nos ayuda al ahorro de espacio evitando el uso de otra torre para posicionar el sensor y lograr la medición brindando al operador un área adecuada para intercambiar la pieza entre mediciones.

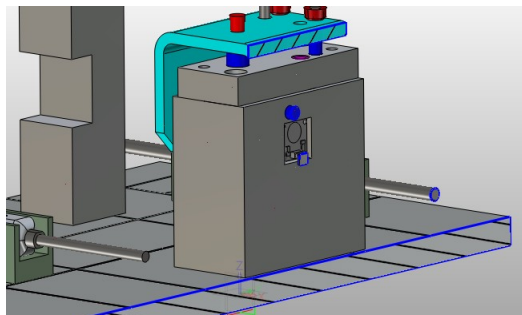


Figura 3.12: Ubicación de sensor capacitivo touchless.

Para la selección del sensor que efectuará la medición del barreno de la cara lateral de la pieza se realizó la comparación del sensor capacitivo seleccionado con otros sensores que

se muestran en la Tabla 3.3. De esta tabla se descartó el sensor láser VL53L0X porque la distancia mínima de detección es mayor a la que requerimos para tener una buena lectura de la entrada de la punta localizadora en el buje que permite la guía de esta, en cambio el push button cumplía con nuestras expectativas de tamaño para ser ubicado en un lugar que no ocupara espacio en el diseño y no hiciera colisión con él mensurando, pero al ser un elemento mecánico podría ser una pieza que habría que estar cambiando muy seguido, ya que esta clase de elementos tienden al desgaste de manera muy rápida.



Sensores		
	Sensor VL53L0X	Push button N/A
Voltaje de alimentación	5V	5V
Resolución	50 mm	
Tamaño	10.5 x 13.3 mm	6mm x 6mm x 4 mm
Corriente	20mA	50 mA
Tipo de sensor	Láser	Switch de 1 polo/1 tiro
Ciclo de vida		500,000 pulsaciones

Tabla 3.4 Comparativa de sensores laterales.

3.4. Programación

El código principal que permite el enlace del checking fixture con la tecnología de la Industria 4.0 está basado en la librería PubSubClient que nos permite realizar la conexión entre el servidor y la tarjeta ESP8266 logrando que la tarjeta sea un cliente MQTT (Protocolo de transporte de mensajes), con lo que se consigue generar una comunicación bidireccional entre la tarjeta de desarrollo del prototipo y la interfaz web donde se visualizarán los resultados.

El programa cargado en la tarjeta de desarrollo comienza mediante la generación de una conexión a la red wifi de la empresa con las credenciales de usuario y contraseña, una vez conectada genera una IP estática previamente registrada para que el servidor de la empresa identifique a la tarjeta de desarrollo y le dé acceso a la conexión de manera segura y de esta forma se protege la transmisión de datos mediante sus procesos de seguridad internos. El siguiente paso es suscribirse a todos los canales que se usarán para que el checking fixture reciba la señal de medición a través de la interfaz web y también a los que permitirán que la tarjeta envíe los datos recabados de la medición.

La tarjeta entra en un periodo de espera donde revisará constantemente si hay algún mensaje de los tópicos a los que se suscribió; por medio de la interfaz web se enviará la orden de realizar la medición y en caso de ser positiva la tarjeta comenzará con el proceso de medición empezando con la obtención de datos del primer sensor de inducción y brindando un

tiempo de espera para que el usuario pueda introducir la punta, posteriormente realizará la misma operación para el segundo sensor de inducción y finalmente efectuará esta operación de medición con el sensor capacitivo.

Una vez obtenidos los datos de medición los analizará para generar los resultados individuales de las mediciones de cada uno de los sensores y calculará el resultado general que permitirá decidir si la pieza pasa el control de calidad. Tanto los resultados individuales como el resultado general serán guardados en una matriz de datos para ser enviada por medio del protocolo MQTT al cliente Node.js que nos permite guardar los resultados en la base de datos y enviarlos a la interfaz web, una vez terminado el proceso el programa volverá a regresar al periodo de espera hasta que este vuelva a recibir la orden de medición de nuevo.

Al finalizar la acción de medición el programa analizará los resultados obtenidos y decidirá si la pieza pasa el control de calidad o no, al instante la ESP8266 subirá los resultados a la base de datos por medio de la interfaz Node y la tarjeta entrara en modo de espera para recibir la siguiente orden de medición (Fig. 3.13).

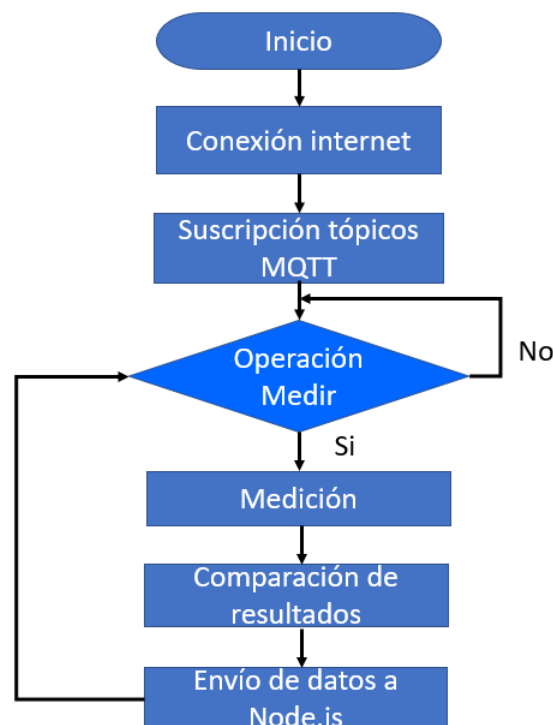


Figura 3.13: Diagrama de flujo de programa de ESP8266.

3.5. Electrónica

La tarjeta con la que funcionará el sistema de medición y envío de datos es la tarjeta ESP8266, ya que cumple con los requerimientos del proyecto y no se requiere de más capacidad de procesamiento de datos, además el envío de estos datos hacia el servidor es a través de Wifi trayendo grandes ventajas como la interacción con un servidor remoto y transmisión de información en cuestión de segundos permitiendo un total aprovechamiento de las herramientas tecnológicas de la industria 4.0. Mientras tanto el protocolo bluetooth que manejan otro tipo de tarjetas no es funcional ni requerido en este proyecto debido a que este fue diseñado para el envío de datos de manera local a una distancia muy corta y su transmisión de información es muy lenta a comparación del Wifi [31].

La tarjeta ESP8266 se encuentra montada sobre un módulo de expansión (Fig. 3.14) que permite una alimentación externa de 6 V por medio de un eliminador, el módulo de expansión permite una conexión sencilla entre sensores y tarjeta sobre todo porque cuenta con pines de alimentación regulados a 5 VCD.



Figura 3.14: Módulo de expansion NODEMCU.

El sensor capacitivo se encuentra conectado al pin D5 (GPIO 14) configurado como entrada digital el cual recibirá la lectura del sensor que nos indicará si existe o no algún contacto con la superficie táctil por medio de la punta localizadora al momento de realizarse la medición de localización del barreno de la cara lateral del bracket, este sensor se encuentra alimentado por medio de un voltaje de 5 V y conectado al pin de GND.

Ambos sensores inductivos están ubicados en la torre central de medición paralelos a los dos barrenos de la cara superior del bracket, el primer sensor se encuentra conectado al pin D6

(GPIO12) configurado como entrada digital mientras el segundo sensor se encuentra conectado al pin D7 (GPIO13) configurado como entrada digital. Ambos sensores se encuentran alimentados por medio de un voltaje de 5 V y nos permitirán detectar en la medición si existe algún contacto con la punta localizadora en la medición de cada uno de los respectivos barrenos a los que están relacionados.

En la Fig. 3.15 se presenta el diagrama de conexiones entre el ESP8266 y los sensores utilizados para realizar la medición de la característica geométrica de localización.

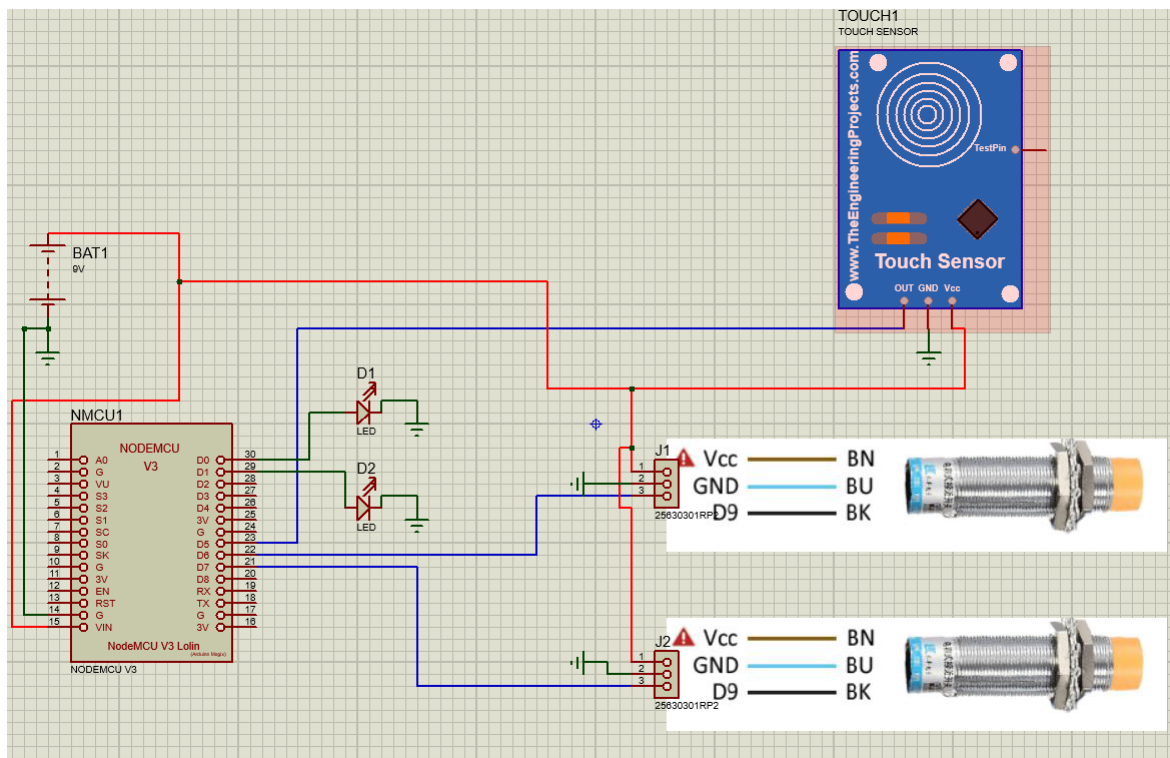


Figura 3.15: Diagrama de conexiones de los sensores.

3.6. Servidor

El servidor para este prototipo está desarrollado en la herramienta Amazon Web Services (AWS, por sus siglas en inglés) que es una nube que ofrece servicios computacionales a través de internet y se encuentran al alcance de los estudiantes por medio de la aplicación de becas en su página AWS EDUCATE que permite el uso de las herramientas y creación de servidores por el tiempo de un año (Fig. 3.16).

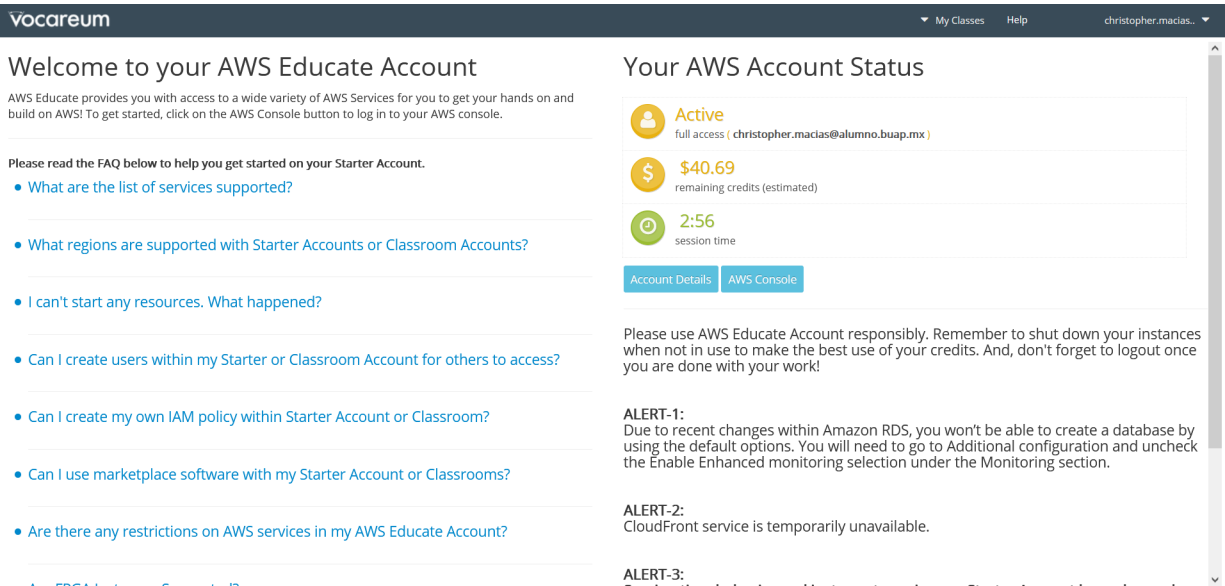


Figura 3.16: Plataforma AWS Educate.

En AWS se crea el servidor mediante la herramienta Elastic compute cloud (EC2, por sus siglas en inglés) que permite la creación de máquinas virtuales (Fig. 3.17) para el almacenamiento de datos y su uso a distancia, la plataforma EC2 paso a paso va a realizando la configuración de la máquina virtual pidiendo datos como sistema operativo con el cual funcionará, memoria RAM, número de equipos a usar, tamaño de almacenamiento, configuración de protocolos de seguridad y configuración de puertos de entrada y salida de datos para mantener la comunicación entre usuario y servidor.

Paso 6: Página Configure Security Group

Un grupo de seguridad es un conjunto de reglas del firewall que controlan el tráfico de la instancia. En esta página, puede agregar reglas para permitir que determinado tráfico llegue a la instancia. Por ejemplo, si desea configurar un servidor web y permitir que el tráfico de Internet llegue a la instancia, agregue reglas que permitan el acceso sin restricción a los puertos HTTP y HTTPS. Puede crear un nuevo grupo de seguridad o seleccionar uno existente a continuación. [Más información](#) sobre los grupos de seguridad de Amazon EC2.

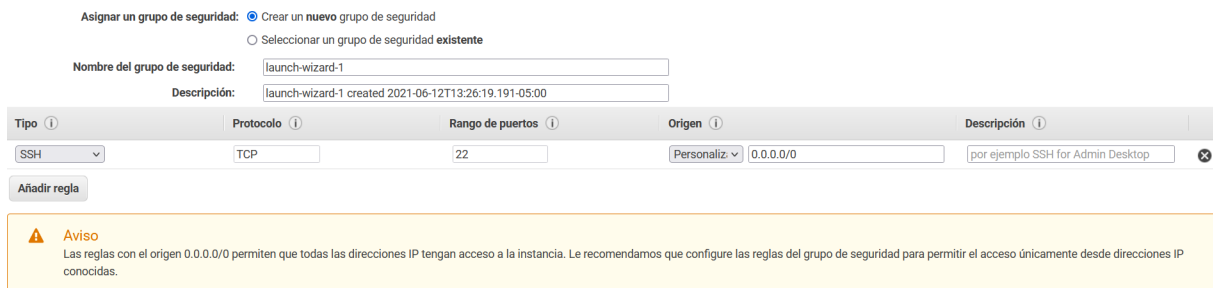


Figura 3.17: Proceso de selección de protocolos de seguridad.

Para completar los requerimientos para este proyecto se instala un web hosting en el servidor mediante la plataforma Vesta panel (Fig. 3.18) y con esto se obtienen servicios como una mejor organización del dominio web, creación de base de datos del tipo MYSQL mediante la herramienta myPHPadmin, respaldo de información y servicio de mensajería.

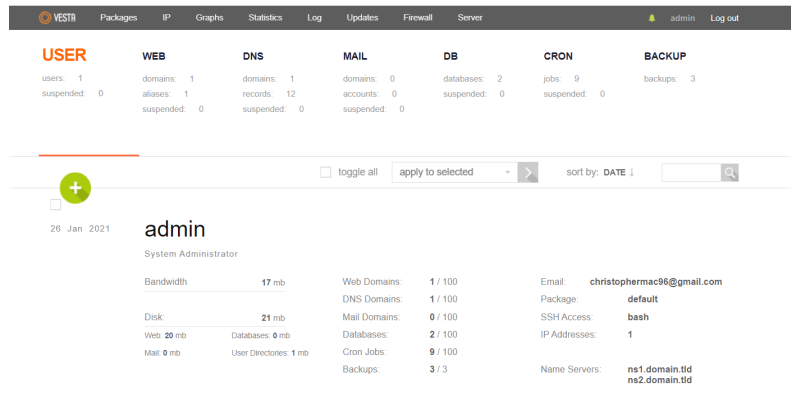


Figura 3.18: Plataforma Vesta panel.

Finalmente se requiere instalar en la máquina virtual un complemento que permita la comunicación por medio del protocolo MQTT; la herramienta EMQX (Fig. 3.19) establece un nodo en el servidor que recibe todos los mensajes de los tópicos y distribuye la información a los dispositivos que se encuentren suscritos a cada uno de estos. Uno de los motivos para la selección de esta herramienta fue la seguridad que brinda debido a que cuenta con protocolos de seguridad de cifrado de datos y su plataforma de administración de configuraciones es muy amigable con usuario incluso negando la entrada a dispositivos desconocidos a los cuales no se ha registrado su IP previamente.

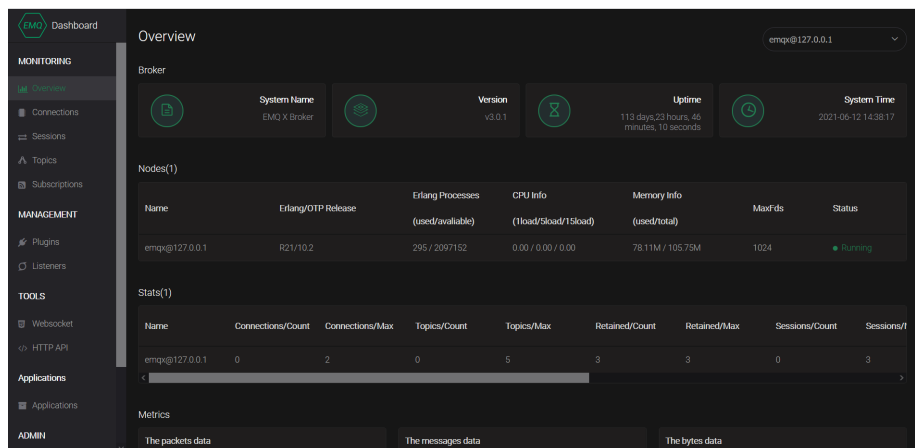


Figura 3.19: Plataforma EMQX.

3.7. Interfaz web

Para realizar el diseño de la página web se utilizó el complemento de diseño Flakit (Fig. 3.20) que permite la creación de páginas web de manera rápida, ya que tiene plantillas precargadas que se pueden usar dependiendo de los requerimientos del usuario, todas estas páginas están desarrolladas en HTML lo cual nos da acceso a usar código en PHP y JavaScript para llevar a cabo las interacciones entre las páginas web, el servidor, uso de protocolos MQTT para realizar un mejor flujo de datos y una fácil interacción entre interfaz y usuario.

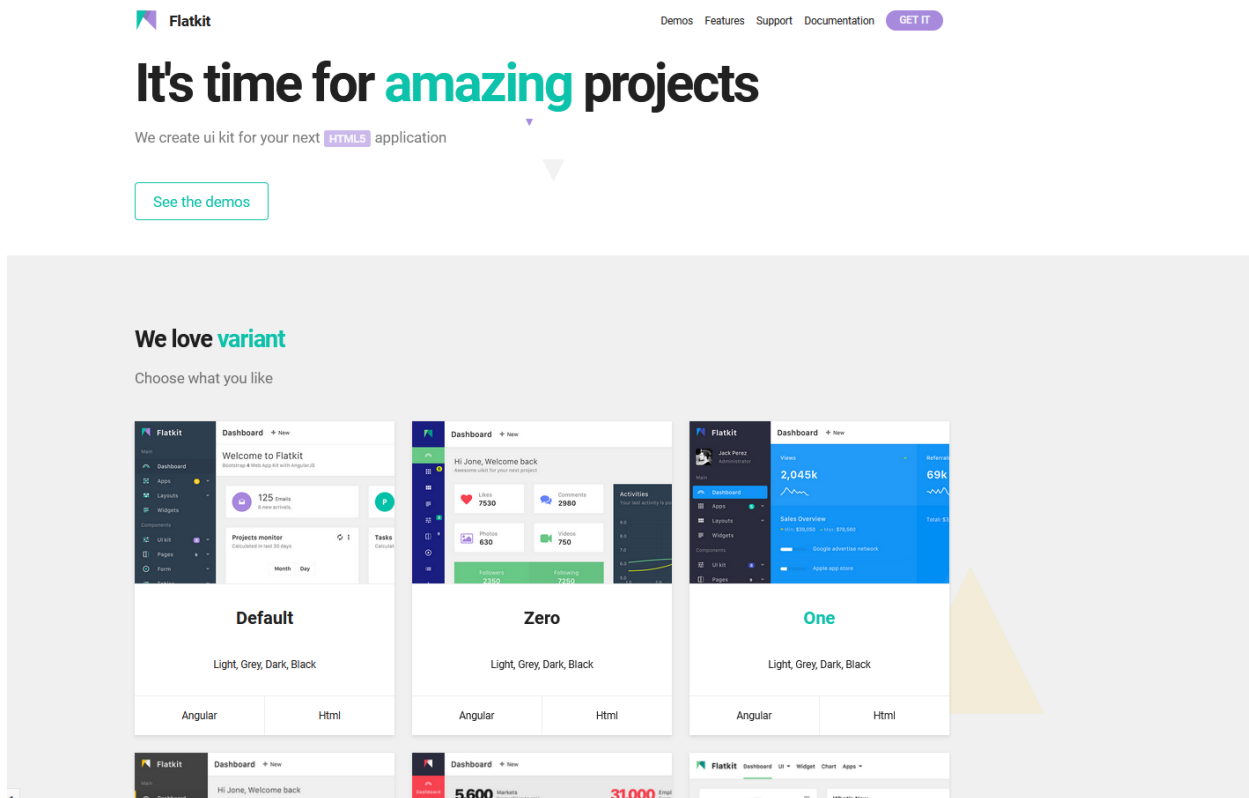


Figura 3.20: Complemento de diseño para páginas web Flakit.

Seleccionando alguna de las variantes de las plantillas precargadas nos mandará a una página principal (Fig. 3.21a) con diversos íconos y secciones con gran variedad de secciones que podremos eliminar o cambiar, además, se tiene acceso a un menú (Fig. 3.21b) que está lleno de complementos extra como diseños de botones, displays, tablas y colores para adecuar la página principal a lo requerido para mostrar los resultados de las mediciones tomadas por el checking fixture.

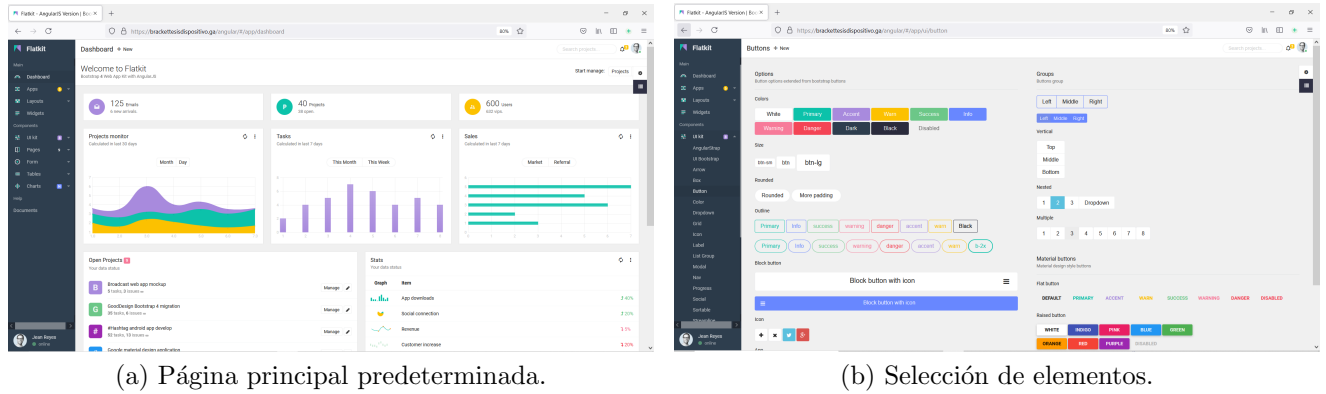


Figura 3.21: Elementos predeterminados para diseño web.

Los requerimientos para esta interfaz web de visualización de resultados (Fig. 3.22) se basan en la creación de 4 displays en donde 3 de ellos mostrarán los resultados de cada una de las mediciones de localización de los barrenos y el cuarto display mostrará si la pieza aprueba la verificación o no la aprueba. Otros componentes requeridos para el diseño de la interfaz son dos botones de acción uno que permite indicar a la tarjeta que se realizara una medición y el otro para indicar que la pieza no pasa la verificación dimensional, finalmente una tabla donde se encuentren plasmadas todas las mediciones realizadas por el checking fixture.



#	Fecha	Agujero 1	Agujero 2	Agujero 3	Resultado
3	2020-10-28 03:47:09	OK	OK	NOok	NOok
2	2020-10-28 03:45:32	NOok	Nook	NOok	Nook
1	2020-10-28 03:44:42	OK	OK	OK	OK

Figura 3.22: Requerimientos interfaz web.

Capítulo 4

Resultados

En el presente apartado se muestran los resultados finales de cada uno de los apartados de la sección anterior, estos resultados están conformados por el ensamble del prototipo final, así como la interfaz web que nos ayuda a visualizar las mediciones realizadas y las estadísticas calculadas con dichas mediciones. Finalmente se presenta una breve descripción del funcionamiento de las etapas del prototipo que conforman el proceso de medición de la pieza.

4.1. Checking fixture

En la Fig. 4.1 se muestra la distribución de las piezas que conforman el checking fixture quedando de la siguiente manera:

1. Placa base.
2. Torre de soporte de clamp de datum A1.
3. Clamp de datum A1.
4. Placa de soporte de datums.
5. Clamp de datum A2.
6. Torre de soporte de clamp de datum A2.
7. Sistema de medición y procesamiento de datos.
8. Alojamiento de punta localizadora y gage.
9. Torre de medición.
10. Piezas a medir.

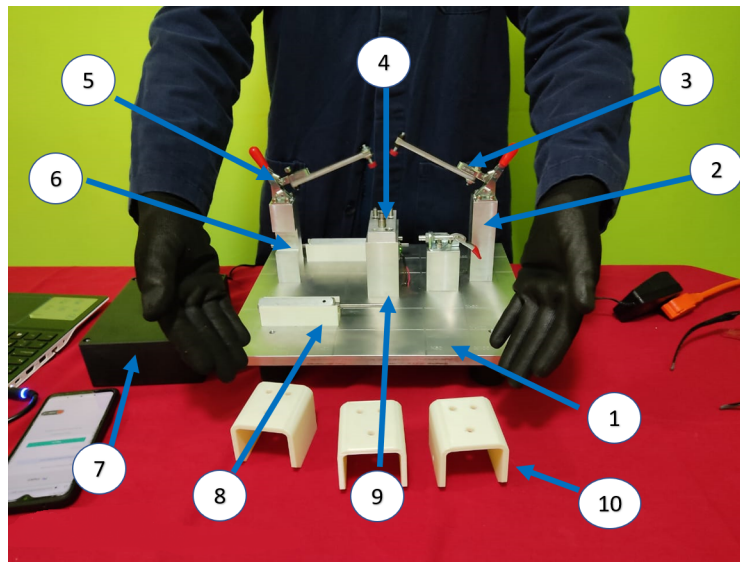


Figura 4.1: Distribución de piezas en checking fixture.

Por otra parte, se presenta el resultado final del gage y de la punta localizadora (Fig. 4.2a y Fig. 4.2b) que nos ayudaran a realizar las mediciones geométricas y dimensionales.



(a) Gage.

(b) Localizador.

Figura 4.2: Elementos de medición de checking fixture.

4.2. Interfaz

La visualización de los datos es a través de una página web optimizada para dispositivos móviles y computadoras, para poder acceder a la página principal (Fig. 4.3) se necesita un usuario y contraseña generado para cada persona implicada en la medición y análisis de las piezas.

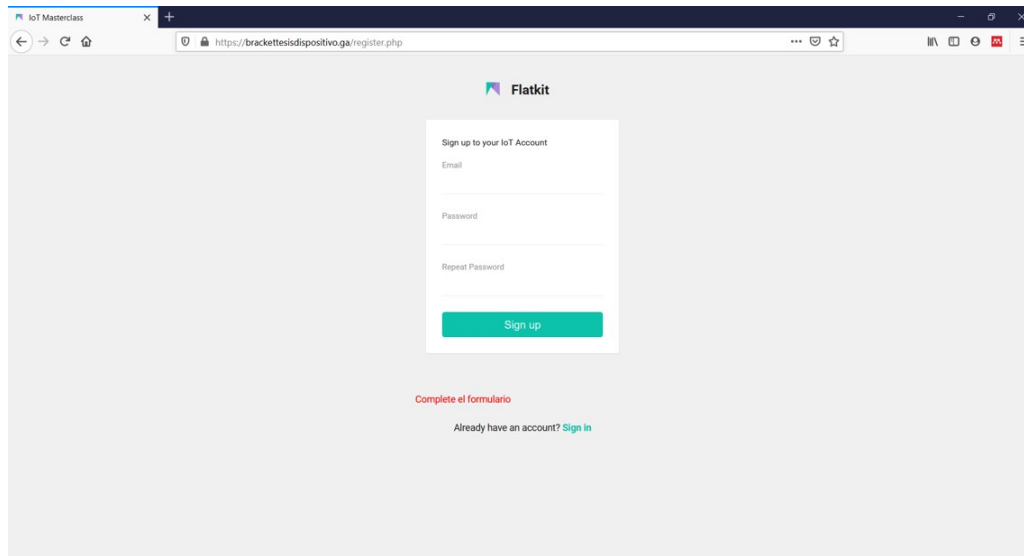


Figura 4.3: Página de Login para permitir acceso a visualización.

La interfaz presentada en la página principal (Fig. 4.4) está compuesta por cuatro displays que permiten visualizar los resultados de la medición al momento de terminar el proceso, dos botones uno que funciona para dar inicio a la medición y el segundo para indicar a la base de datos que una pieza es errónea cuando la pieza no pasa la prueba de las puntas go-no go y por último una tabla que contiene el historial de todas las mediciones hechas con el checking fixture.

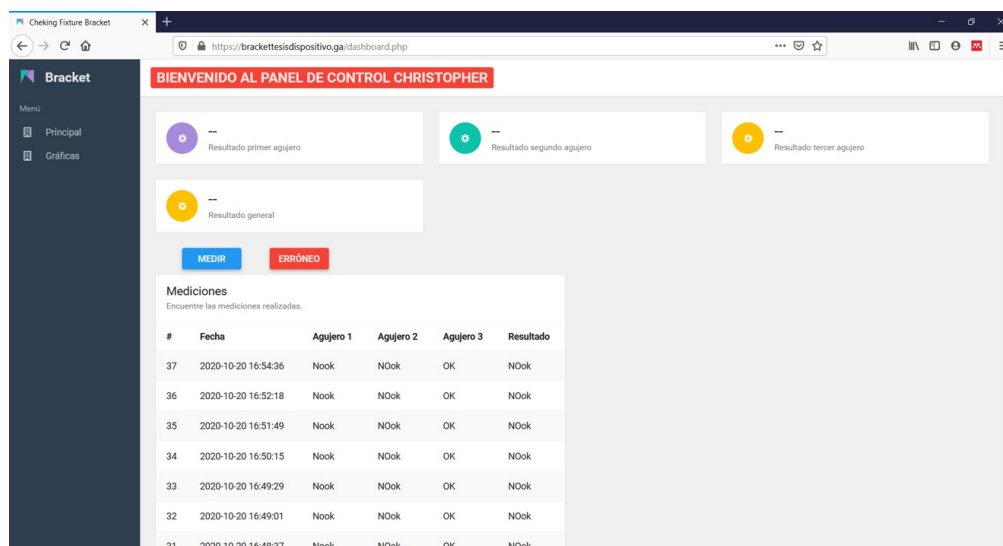


Figura 4.4: Página principal de la interfaz.

Dentro de la interfaz se cuenta con un apartado que nos permite visualizar una estadística

(Fig. 4.5) del porcentaje de piezas correctas e incorrectas comparado con el número de piezas medidas.



Figura 4.5: Sección de estadística.

4.3. Proceso de medición

El primer paso para comenzar a realizar la medición de las características geométricas del bracket con el checking fixture desarrollado en este trabajo es efectuar una medición dimensional (Fig. 4.6) por medio del Gage go-no go, si alguna de las puntas hace la acción contraria para lo que se diseñó significa que los barrenos de la pieza está fuera de las tolerancias dimensionales propuestas.



Figura 4.6: Medición dimensional.

En caso de que el Gage go-no go cumpla con su tarea principal nos indicará que los barrenos de la pieza se encuentran dentro de la zona de tolerancia dimensional especificada en el plano (5.8 mm hasta 6.2 mm).

El siguiente paso es asentar la pieza por medio del proceso de fijación (Fig. 4.7) realizado mediante los clamps, comenzando con los clamps del datum A hasta el clamp del datum C.

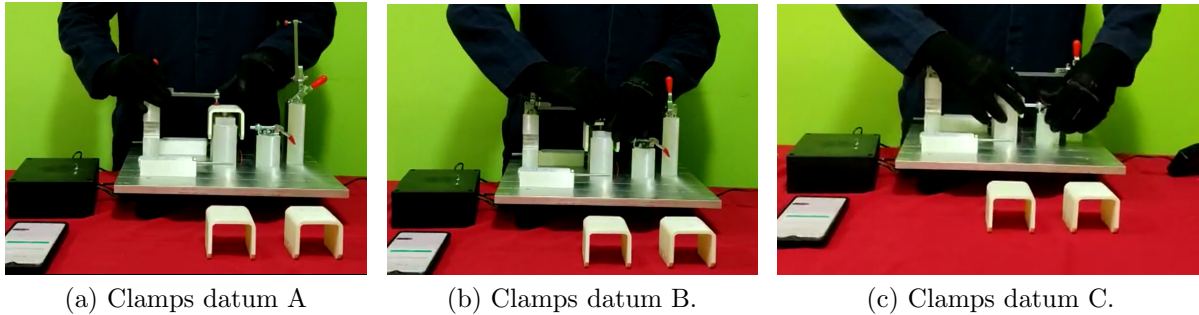


Figura 4.7: Proceso de fijación de bracket.

Para comenzar el proceso de medición de la característica geométrica de localización se presiona el botón medir (Fig. 4.8) que se encuentra en la interfaz web.

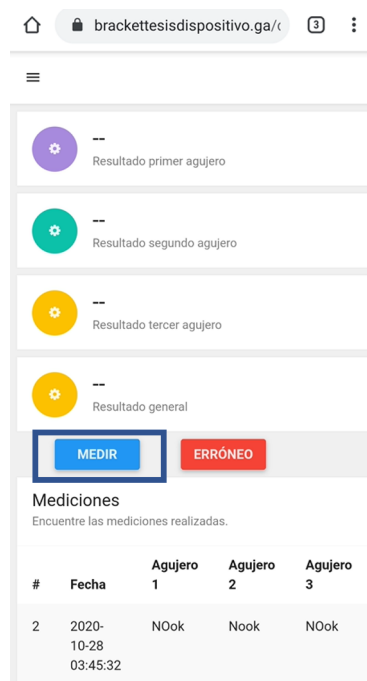
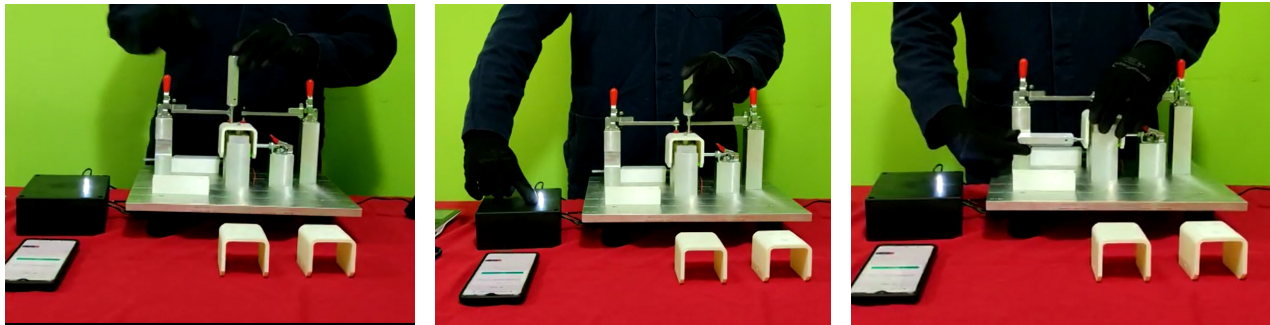


Figura 4.8: Botón para iniciar medición.

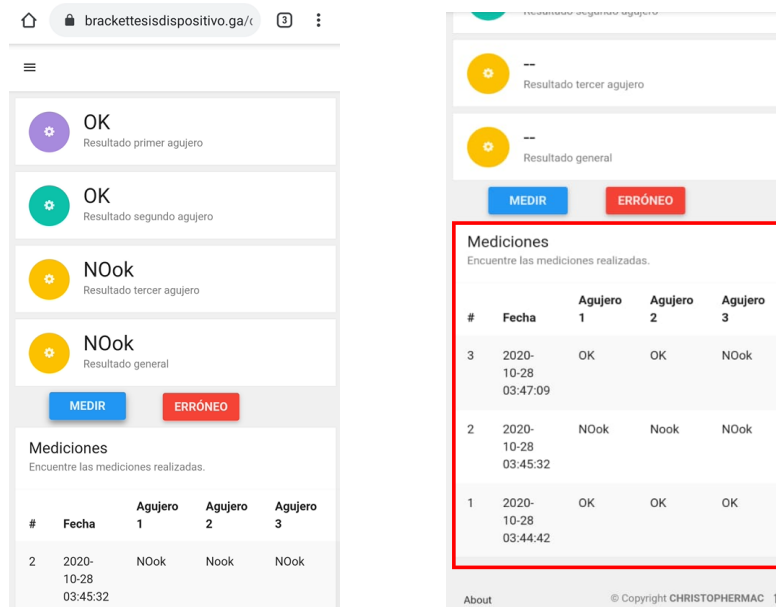
En el proceso de medición (Fig. 4.9) el led nos indicará cuando introducir la punta de localización en cada uno de los bujes y cuando retirarla para cambiar de buje.



(a) Medición en primer barreno. (b) Medición en segundo barreno. (c) Medición en tercer barreno.

Figura 4.9: Proceso de medición de característica de localización.

Finalmente, los datos obtenidos por los sensores son enviados al servidor web y a la base de datos, la interfaz web se encargará de obtener estos datos para presentarlos en cuatro displays (Fig. 4.10a) y mostrarlos en una tabla donde se muestran las mediciones realizadas (Fig. 4.10b).



(a) Presentación de resultados al momento.

(b) Historial de mediciones.

Figura 4.10: Visualización de resultados.

En el anexo I se describe con mayor detalle el proceso paso a paso para lograr la medición dimensional y geométrica de la pieza.

4.4. Comparativa con otros desarrollos

En el mercado existe gran cantidad de checking fixtures que son diseñados acorde a las necesidades de las empresas y cada uno de estos son únicos debido a que son diseñados solamente para una pieza en específico. El diseño y el tamaño puede variar dependiendo de los implementos tecnológicos que la empresa solicite para que esta herramienta de medición pueda ser anexada de manera eficiente en su proceso de fabricación.



En respuesta a la consulta realizada el 11/06/2021 CIYDI no puede brindar la información completa acerca del checking fixture debido al contrato de confidencialidad firmado con la empresa al momento de la contratación de los servicios de consultoría.

Sin embargo, los datos que se pueden brindar es una breve descripción del checking fixture y el costo de éste.

Las características principales del checking fixture son:

- 4 sensores para la obtención de las mediciones.
- Tamaño de placa de 2500 x 2500 mm.
- PLC para el monitoreo de datos y generar acciones de control.
- PC para el guardado de mediciones en base de datos local.
- 2 Gages para realizar inspección dimensional.
- 2 Fillet gages.

Este checking fixture tiene un costo aproximado de fabricación de **\$147,280 M/N**, (ciento cuarenta y siete mil doscientos ochenta pesos M/N).

Cualquier otra duda, estamos a la orden.

Atentamente

Ing. Miriam Jiménez Zabala
Director General de CIYDI Ingeniería aplicada

Av. Cuauhtémoc 106, Col. Ampliación Guadalupe Hidalgo, Puebla, Pue., C. P. 72197
Tel. 222 939 14 40 Cel. 222 458 78 97 y 2227 07 41 29
contacto@ciydi-ingenieria.com www.ciydi-ingenieria.com

Figura 4.11: Características de checking fixture.

La figura 4.11 detalla la existencia de un checking fixture diseñado para una pieza diferente a la usada para el trabajo de esta tesis con características tecnológicas similares destacando una diferencia, puesto que el guardado de datos se realiza mediante el uso de una PC y estos datos son guardados en una base de datos local cuya información solo se puede consultar desde la misma PC que se encuentra conectada al checking fixture.

Cantidad	Descripción	Precio	Total
1	Maquinado	\$11,379	\$11,379
1	Material	\$1,560	\$1,560
1	Tarjeta ESP8266	\$130	\$130
2	Sensor LJ8A3-2-2/BX	\$220	\$440
1	Sensor TTP223B	\$48	\$48
3	Impresión 3D	\$375	\$1,125
1	Caja de proyectos	\$120	\$120
1	Tablet lenovo pad M8	\$2,396	\$2,396
1	Smartphone Redmi 9c	\$2,848	\$2,848
12	Suscripción mensual servidor Amazon AWS	\$146	\$1,752
1	Anualidad Dominio web	\$600	\$600
1	Anualidad servicio mensajería EMQX	\$896	\$896
		Total	\$23,294

Tabla 4.1: Costos del prototipo.

Las especificaciones técnicas de los dispositivos cotizados en la tabla 4.1 se encuentran descritas con mayor detalle en el anexo II.

De la tabla anterior resalta el costo del maquinado el cual se obtuvo mediante el cálculo del tiempo de fabricación de cada una de las piezas en minutos, la elaboración de las piezas se realizó en un taller dedicado a este rubro debido a que no se contaba con el equipo y maquinaria necesaria.

Otro punto a recalcar es la diferencia de costos entre el prototipo realizado para esta tesis (Tabla 4.1) y el checking fixture donde se resalta que el costo del prototipo es una décima parte del costo del checking fixture que tiene características similares destacando que el prototipo tiene grandes ventajas como un menor tamaño, conectividad con una base de datos que se encuentra en línea, una unidad de procesamiento de tamaño compacto con conexión a internet, sensores potentes de menor costo, una interfaz web que permite a un dispositivo registrado previamente por la empresa acceder a las mediciones realizadas y la visualización de una estadística de las piezas que pasaron y no pasaron la inspección.

En la actualidad existen diversas zonas del país cuya principal actividad económica es la manufactura automotriz y en las fábricas se observa la problemática detectada en este trabajo de tesis sobre la falta de innovación tecnológica en los checking fixtures donde la gran mayoría de estos fixture utilizados en las empresas siguen siendo analógicos debido a esto más personas han visto un área de oportunidad para el desarrollo de tecnología en este apartado y entre todas estas investigaciones destaca un checking fixture que aún sigue en etapas de desarrollo y sigue sin ser fabricado, en este trabajo se realiza la simulación de un sistema de escaneo mediante Matlab para reconocer las variaciones de la pieza y los datos obtenidos son procesados en un software de estadística [32].

Capítulo 5

Conclusiones

La aportación de este trabajo se basó en el aprovechamiento de las nuevas tecnologías creadas para la transición de la industria a esta nueva etapa llamada Industria 4.0 donde la conectividad y el internet constituyen un papel muy importante, así como su aplicación a una herramienta del área de calidad que a lo largo de este tiempo no había recibido mucha innovación tecnológica debido a diversos factores siendo uno de los principales los altos costos de implementación.

Con el prototipo desarrollado en este trabajo se logra la inserción de tecnología gracias a los sensores que se encuentran actualmente en el mercado aprovechando dos características principales que son su potencia y su tamaño compacto. Esta última característica permite adherir los sensores en el proceso de diseño de manera eficiente en espacios reducidos así evitando colisiones con otros componentes e incluso el propio mensurando, esto es una gran ventaja en el diseño de checking fixtures más complejos donde el mensurando sea una pieza de mayor tamaño; lo más destacable en el producto final es que a pesar de estas implementaciones se mantiene la precisión que caracteriza a esta herramienta.

Una contribución destacable del presente trabajo es la reducción de espacio mediante el uso de tarjetas de desarrollo con gran capacidad de procesamiento y de menor tamaño comparada con una computadora de escritorio o computadora portátil, la unidad de procesamiento de este prototipo junto con sus conexiones ocupa un espacio de 17 cm x 6 cm x 13 cm y la gran ventaja que el dispositivo de visualización o de entradas puede ser desde una Tablet hasta un Smartphone brindando al operador un espacio de trabajo adecuado para ocupar el checking fixture.

La fácil conectividad y respuesta del prototipo juega un papel importante en su operación, ya que en cuestión de segundos tenemos los datos de la medición en la base de datos y listos para ser usados por el algoritmo de estadístico de la interfaz web para ser visualizados de una manera concisa y fácil de interpretar.

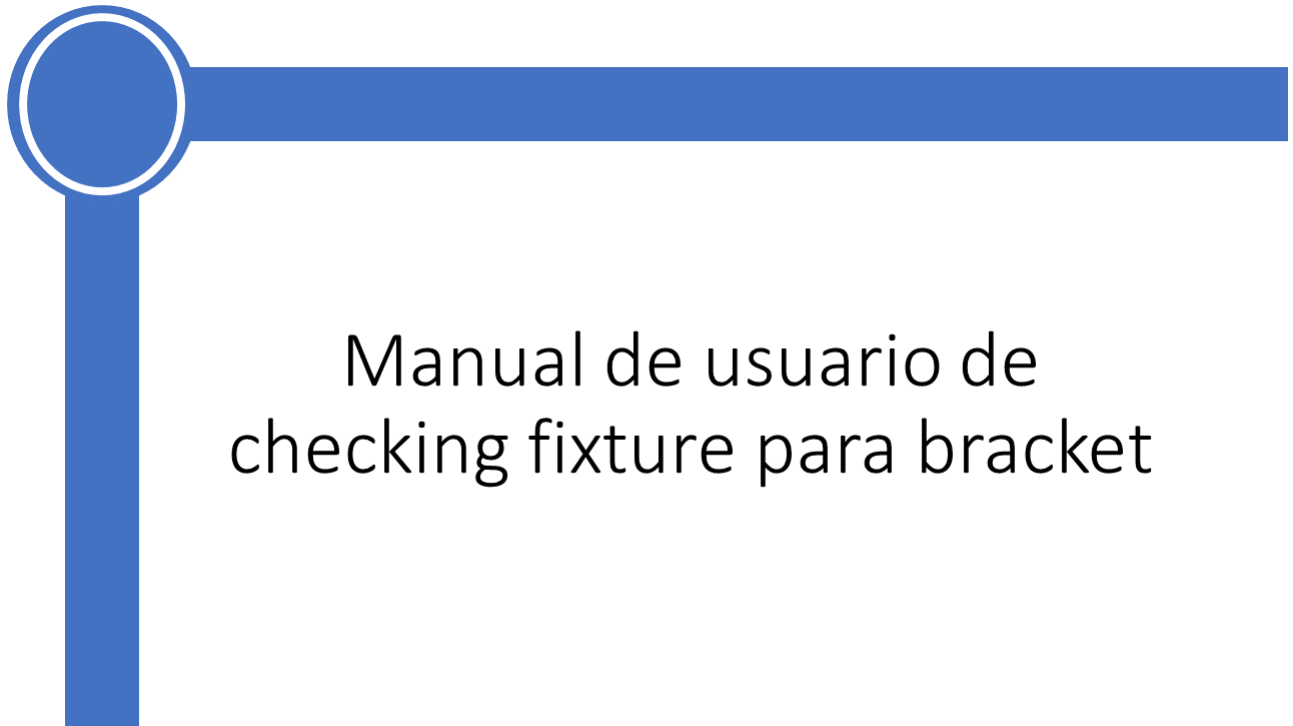
Cabe destacar que este proyecto tiene amplias áreas donde se pueden realizar mejoras, una de ellas es el uso de una tarjeta de desarrollo con mejor capacidad de procesamiento y mayor rango de conexión ideal para proyectos más grandes que incluyen una mayor cantidad de sensores dado que esto conlleva a una gran cantidad de datos de entrada que la tarjeta debe de procesar en cuestión de segundos sin perder recursos al momento de estar realizando otras tareas como la conectividad u obtención de datos de otros procesos.

Por otra parte, la interfaz web puede mejorar en la organización de los datos agregando secciones importantes como número de lote, operador encargado de hacer la medición y turno o datos importantes que ayuden a la empresa a obtener un proceso que agilice la fácil revisión de la información, otro reto a encarar en esta misma sección es la parte estadística, ya que se puede aplicar algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático para llevar una clasificación y agilización en el manejo de datos traduciéndose en una respuesta más rápida y funcional notándose la diferencia al momento de procesar una gran cantidad de datos y permitir agregarlos a la estadística global en cuestión de segundos.

Por otro lado, se sabe que el área de oportunidad trabajada en esta tesis es muy amplia y al paso de los últimos años se han realizado diversos trabajos e investigaciones para realizar innovaciones y aportaciones de tecnología a los checking fixture.

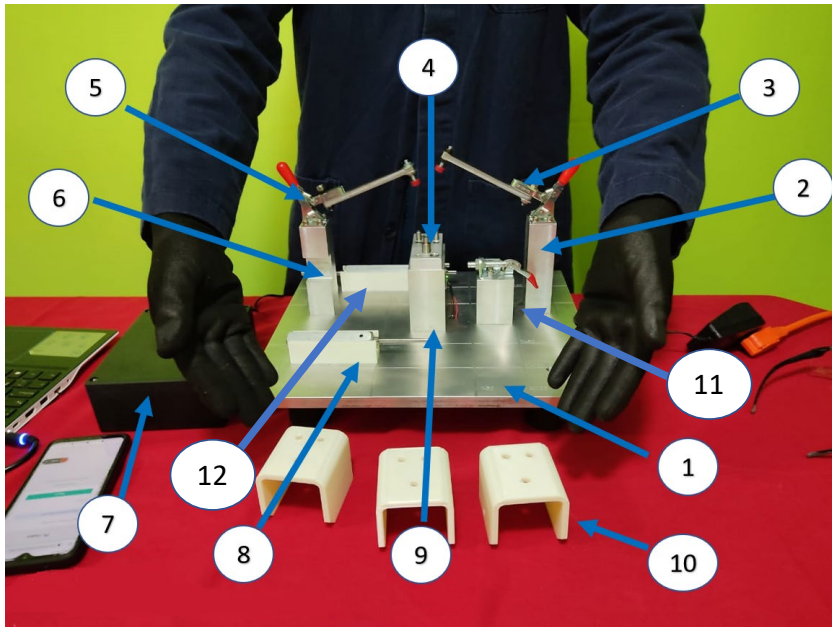
Esta tecnología es muy prometedora porque no solo es exclusiva para los checking fixture, sino también pueden aplicarse los principios usados en esta tesis en otros procesos de la industria reflejándose en mayor producción y mejor manejo de stocks; con esto se lograría dar los primeros pasos para la adopción de las prácticas de la Industria 4.0 en México y esto sería un gran beneficio para Puebla siendo uno de los estados que produce más autopartes en el país contiene un gran cantidad de pequeñas y grandes empresas que se verían beneficiadas con la introducción a esta nueva era globalizada contando con tecnología de alto nivel y sobre todo costeable.

Anexo I: Manual de usuario



Manual de usuario de
checking fixture para bracket

Componentes



1. Placa base.
2. Torre de soporte de clamp de datum A1.
3. Clamp de datum A1.
4. Placa de soporte de datums.
5. Clamp de datum A2.
6. Torre de soporte de clamp de datum A2.
7. Sistema de medición y procesamiento de datos.
8. Alojamiento de punta localizadora y gage.
9. Torre de medición.
10. Piezas a medir.
11. Clamp datum C.
12. Gage Go-No Go.

Interfaz web

Área de visualización conformada por 4 displays, 3 para indicación de mediciones de agujeros y uno para indicación de resultado general.

The screenshot shows the Bracket web interface. On the left is a dark sidebar with a 'Bracket' logo and a 'Menú' section containing 'Principal' and 'Gráficas'. The main content area has a red banner at the top that says 'BIENVENIDO AL PANEL DE CONTROL'. Below this are four circular displays: 'Resultado primer agujero' (purple), 'Resultado segundo agujero' (teal), 'Resultado tercer agujero' (yellow), and 'Resultado general' (yellow). Below the displays are two buttons: 'MEDIR' (blue) and 'ERRÓNEO' (red). At the bottom is a table titled 'Mediciones' with columns for '#', 'Fecha', 'Agujero 1', 'Agujero 2', 'Agujero 3', and 'Resultado'. The table contains three rows of measurement data. At the bottom left of the interface is an 'About' link, and at the bottom right is a copyright notice: '© Copyright CHRISTOPHERMAC - 1.0 1'.

Sección de estadística.

Botón para indicar la orden de medir a la unidad de procesamiento.

Botón para indicar una verificación dimensional errónea.

Historial de mediciones.

#	Fecha	Agujero 1	Agujero 2	Agujero 3	Resultado
3	2020-10-28 03:47:09	OK	OK	NOok	NOok
2	2020-10-28 03:45:32	NOok	Nook	NOok	Nook
1	2020-10-28 03:44:42	OK	OK	OK	OK

Área de estadística

Pantalla principal donde se muestra el porcentaje de piezas que pasaron la verificación y las piezas que no lo hicieron.



Interfaz web en dispositivo móvil

La interfaz web es compatible con dispositivos móviles Android e iOS.

Resultado tercer agujero

--

Resultado general

--

MEDIR ERRÓNEO

Mediciones

Encuentre las mediciones realizadas.

#	Fecha	Agujero 1	Agujero 2	Agujero 3
3	2020-10-28 03:47:09	OK	OK	NOok
2	2020-10-28 03:45:32	NOok	Nook	NOok
1	2020-10-28 03:44:42	OK	OK	OK

About © Copyright CHRISTOPHERMAC T

Proceso de medición



1. Realizar la inspección dimensional introduciendo ambas puntas del gage Go-No Go en cada uno de los barrenos.

2. Colocar la pieza (como se muestra en la imagen) y se procede a bajar los clamps del datum A1 hasta que la punta realice el contacto con el bracket.





3. Introducir el eje de simulación del datum B en el barreno correspondiente para alinear la pieza en el lugar adecuado.

4. Mover el clamp del datum C de la cara lateral hasta que este realice contacto con la cara del bracket, de esta forma el proceso de fijación de la pieza estará finalizado.

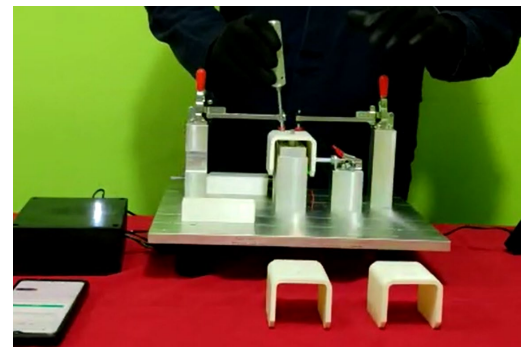


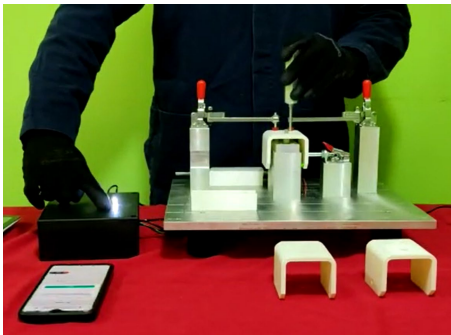


MEDIR

5. Entrar a la plataforma mediante el link <https://brackettesisdispositivo.ga/login.php> e introducir usuario y contraseña, una vez adentro de la interfaz seleccionar el botón medir para dar inicio a la medición.

6. Introducir la punta localizadora en el primer barreno, los leds nos indicarán cuando retirar la punta.





7. Una vez indicado hacer el cambio de la punta localizadora al siguiente barreno.

8. Cambiar la punta localizadora para introducirla en el último barreno, después de unos segundos los datos podrán ser visualizados en la interfaz web junto con su estadística.



Anexo II: Especificaciones técnicas de dispositivos móviles

En la siguiente sección se presentan las especificaciones técnicas de los dispositivos presentados en la tabla 4.1 de la sección 4.4.

Tablet Lenovo Tab M8



- Dimensiones: 199.1 x 121.8 x 8.2 mm.
- Peso: 305 gramos.
- Tamaño: 8 Pulgadas — 16:10.
- Panel de pantalla: tipo IPS.
- Resolución: 2160 x 1080 pixeles.
- Procesador: Mediatek Helio A22 4 x 2 GHz @ Cortex-A53.
- Memoria interna: 32 GB + 3 GB RAM.
- Micro SD: hasta 1 TB.

- Conectividad WiFi: WiFi 802.11 ac.
- Bluetooth: Bluetooth 5.0.
- Conexión USB: MicroUSB 2.0.
- Batería: 5000 mAh.
- Sistema operativo: Android 9.

Smartphone Redmi 9c



- Dimensiones: 164.9 x 77.07 x 9 mm.
- Peso: 196 gramos.
- Tamaño: 6.53 Pulgadas.
- Panel de pantalla: LCD.
- Resolución: 1600 x 720 pixeles.
- Procesador: MediaTek Helio G35.
- GPU: PowerVR GE8320.
- Memoria Ram: 3 GB.
- Almacenamiento interno: 32 GB.
- Batería: 5000 mAh.
- Conectividad WiFi: Wifi 2.4 Ghz.
- Bluetooth: Bluetooth 5.0.
- Sistema operativo: Android 10.
- Carga de batería: 10 W.

Bibliografía

- [1] “Revolución Industrial — Historia Universal.” [En línea]. Disponible: <https://mihistoriauniversal.com/edad-contemporanea/revolucion-industrial/>. [Accesado: 22-Feb-2020].
- [2] “Primera Revolución Industrial — Economipedia.” [En línea]. Disponible: <https://economipedia.com/definiciones/primera-revolucion-industrial.html>. [Accesado: 22-Feb-2020].
- [3] “Segunda Revolución Industrial — Economipedia.” [En línea]. Disponible: <https://economipedia.com/definiciones/segunda-revolucion-industrial.html>. [Accesado: 21-Feb-2020].
- [4] M. De Auto-estudio, “Dimensiones y Tolerancias Geométricas,” pp. 557–714, 1994.
- [5] Ing. J.O Andraca Alcocer, “Fundamentos y diseño de dispositivos de control”, Puebla, CIYDI,2019.
- [6] L. B. George, “Layout and checking device,” United States Pat., vol. 1, no. 4, pp. 112–116, Jan. 1985, doi: 10.1016/0375-6505(85)90011-9.
- [7] C. Klukowski and S. St Clair, “Spline checking fixture,” United States Pat., vol. 14, no. 4, pp. 595–599, 1985, doi: 10.1016/0375-6505(85)90011-2.
- [8] D. L. Simon, G. Pointe, and S. M. Kloock, “Cheking fixture with computer compensation for data collection device locators,” United States Pat., no. 19, 1994.
- [9] W. Hu and Y. Rong, “Fast interference checking algorithm for automated fixture design verification,” Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 16, no. 8, pp. 571–581, 2000, doi: 10.1007/s001700070047.
- [10] ”Tercera Revolución Industrial — Economipedia.” [En línea]. Disponible: <https://economipedia.com/definiciones/tercera-revolucion-industrial.html>. [Accesado: 22-Feb-2020].

- [11] H. Cai-Qi, L. Zhong-Qin, and L. Xin-Min, “Concept design of checking fixture for auto-body parts based on neural networks,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 30, no. 5–6, pp. 574–577, 2006, doi: 10.1007/s00170-005-0039-4.
- [12] R. Flynn and C. Miller, “11 Reasons to Use Automated Metrology,” *SAE Tech. Pap.*, no. March, pp. 1–6, 2019, doi: 10.4271/2019-01-1369.
- [13] “Extension Surface Reparation in Checking Fixture Design, *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2011.” Disponible: <https://en.cnki.com.cn/Article/en/CJFDTotal-SHJT201111029.htm> [Accesado 23-Feb-2020].
- [14] “Qué es la Cuarta Revolución Industrial? - Blog de Salesforce.” [En línea]. Disponible: <https://www.salesforce.com/mx/blog/2018/4/Que-es-la-Cuarta-Revolucion-Industrial.html>. [Accesado: 24-Feb-2020].
- [15] “Cuarta Revolución Industrial — Economipedia.” [En línea]. Disponible: <https://economipedia.com/definiciones/cuarta-revolucion-industrial.html>. [Accesado: 24-Feb-2020].
- [16] V. Tapia, “Industria 4.0 – Internet de las Cosas,” *Utciencia*, vol. 1, no. 1, pp. 51–60, 2017, [En línea]. Disponible: <http://investigacion.utc.edu.ec/revistasutc/index.php/utciencia/article/view/6/7..>
- [17] “Measurement system of flexible electronic checking fixture on robot, *Optics and Precision Engineering*, 2011.” Disponible: <https://en.cnki.com.cn/Article/en/CJFDTotal-GXJM201108013.htm> [Accesado: 6-Mar-2020].
- [18] C. ESTEVA, “SALUD LABORAL La ergonomía y la planificación del trabajo en la oficina de farmacia,” *Offarm*, vol. 20, no. 1, pp. 100–103, 2001.
- [19] “La tercera revolución: Internet industrial - *elEconomista.es*.” [En línea]. Disponible: <https://www.economista.es/firmas/noticias/7004976/09/15/La-tercera-revolucion-internet-industrial.html>. [Accesado: 24-Feb-2020].
- [20] “Beginner’s Guide to GD&T - Datums.” [En línea]. Disponible: <https://www.cnccookbook.com/gdt-datum-symbol-feature/>. [Accesado: 09-Abr-2020].
- [21] ASME, “Dimensioning and Tolerancing,” *ANSI Stand*, vol. 2018, no. Y14, 5, 1973, doi: 10.1002/9781119516743.ch27.
- [22] “Datum Targets — Understanding Datums — GD&T Fundamentals — KEYENCE America.” [En línea]. Disponible: <https://www.keyence.com/ss/products/measure-sys/gd-and-t/datum/target.jsp>. [Accesado: 25-May-2020].
- [23] F. O. R. Standardization and D. E. Normalisation, “International Standard Iso,” vol. 1987, 1987.

- [24] A. Krulikowki, *The ultimate GD&T Pocket Guide*, 2nd edition. Effective Training inc, 2009.
- [25] “GD&T, Dimensiones y tolerancias geométricas, GD&T, tolerancias de forma, Rectitud, tolerancias, Rectitud, Taylor Rule 1,.” [En línea]. Disponible: https://www.cobanengineering.com/Dimensiones_y_Tolerancias_Geometricas/Tolerancias-Geometricas_Forma_Tolerancia_Rectitud.asp. [Accesado: 09-Abr-2020].
- [26] M. Rodríguez Catro, *GD&T ASME and GPS ISO Standard*, Primera ed. Puebla: CIY-DI, 2019.
- [27] “Profile of a Line – GD&T Basics.” [En línea]. Disponible: <https://www.gdandtbasics.com/profile-of-a-line/>. [Accesado: 08-Abr-2020].
- [28] “Profile of a Surface – GD&T Basics.” [En línea]. Disponible: <https://www.gdandtbasics.com/profile-of-a-surface/>. [Accesado: 08-Abr-2020].
- [29] “¿Qué es y cómo funciona el Internet de las cosas?” [En línea]. Disponible: <https://hipertextual.com/archivo/2014/10/internet-cosas/>. [Accesado: 9-Abr-2020].
- [30] “ESP8266 todo lo que necesitas saber del módulo WiFi para Arduino.” [En línea]. Disponible: <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>. [Accesado: 9-Abr-2020].
- [31] “WiFi vs Bluetooth: qué diferencia a estas dos tecnologías inalámbricas.” <https://www.xataka.com/basics/wifi-vs-bluetooth-que-diferencia-a-estas-dos-tecnologias-inalambricas> [Accesado: 23-Jun-2021].
- [32] R. María MENDOZA-DERRAMADERO and J. De La Cruz, “Diseño y desarrollo de un prototipo Checking-Fixture para componentes de la industria automotriz con un enfoque hacia la industria 4.0” *Artículo Rev. del Desarro. Tecnológico* Diciembre, vol. 3, pp. 1–6, 2019, doi: 10.35429/JTD.2019.12.3.1.6.