

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

**INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR
DE SALVATIERRA**



**“DISEÑO DE PROTOTIPO DE HERRAMENTAL
PARA PROCESO DE SOLDADURA ROBOT
DE PLACAS ELECTRÓNICAS”**

**TITULACIÓN INTEGRAL
(TESIS)**

Elaborada por:

ALFONSO GONZÁLEZ MÉNDEZ

Para obtener el título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Asesora:

DRA. MARCELA ESPINOSA RODRÍGUEZ

Salvatierra, Gto.

Abril, 2025



Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra

Subdirección Académica

FORMATO DE LIBERACIÓN DE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL

Lugar y fecha: 06 de marzo de 2025

Asunto: Liberación de proyecto para la titulación integral.

C. M.C.P. OMAR GIL VÁZQUEZ

Jefe(a) de la División de Estudios Profesionales o su equivalente en los Institutos Tecnológicos Descentralizados

PRESENTE

Por este medio informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la titulación integral:

Nombre:	Alfonso González Mendez
Carrera:	Ingeniería Industrial
No. De Control	IN20110472
Nombre del proyecto:	Diseño de prototipo de herramental para proceso de soldadura robot de placas electrónicas
Producto:	Tesis

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

M.C.P. Omar Gil Vázquez

Dra. Marcela Espinosa Rodríguez Nombre y firma del Asesor	Dra. Ana Luisa Olvera Montoya Nombre y firma del revisor	Ing. Erik Gerardo Martínez Gómez Nombre y firma del revisor

*Solo aplica en caso de Tesis

Ccp. Expediente



2025
Año de
La Mujer
Indígena

Manuel Gómez Morín #300 Comunidad de Janicho, Salvatierra,

Guanajuato, Méx. C.P. 38900 Tels. 466 663 98 00 Ext. 130



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la **Ing. Marcela Espinosa Rodríguez**, mi asesora de proyecto, por su invaluable guía y orientación durante cada etapa de esta investigación. Su paciencia, conocimientos y compromiso fueron fundamentales para mejorar el enfoque del proyecto, y sus consejos me ayudaron a desarrollar este trabajo con éxito.

A mis **profesores de la universidad**, por el aprendizaje que me brindaron durante estos cuatro años. Agradezco sus enseñanzas, regaños, experiencias, conocimientos y consejos, que sin duda fueron clave para mi crecimiento académico y personal.

A la **empresa Gentherm**, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto dentro de sus instalaciones, permitiéndome acceder a los recursos y datos esenciales para llevar a cabo la propuesta. Agradezco a los operadores y al equipo de ingeniería por su disposición, paciencia y valiosos comentarios durante las pruebas del prototipo.

A mis **compañeros de la universidad**, quienes fueron un apoyo constante durante todo el proceso. Gracias por compartir conocimientos, por el trabajo en equipo, y por todos los momentos de aprendizaje.

Y, por supuesto, a mi **casa de estudios, el Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra (ITESS)**, por ser el lugar donde se forjaron las bases de mi carrera profesional. Agradezco a todos los docentes, administrativos y personal que contribuyó al desarrollo de mi formación académica.

DEDICATORIA

A **Dios**, quien ha sido mi principal fuente de fuerza y esperanza a lo largo de este proceso. Le agradezco profundamente por guiarme por el camino correcto, dándome las fuerzas para enfrentar los retos y permitiéndome culminar esta hermosa etapa en mi vida. Su presencia en cada paso de mi camino me ha dado paz y certeza.

A mi **Papá Ricardo González Magaña**, a quien dedico todo el esfuerzo, tiempo y dedicación que puse en esta carrera. Él fue quien me impulsó a seguir adelante cuando ya pensaba en abandonar, siempre creyendo en mí y motivándome a alcanzar mis metas. Agradezco sus consejos, su paciencia infinita, y el amor que me ha dado. Gracias, papá, por ser mi gran apoyo.

A mi **Abuelita Guillermina Magaña Flores**, por ser mi fuente constante de amor, consejos y paciencia. Ella ha sido mi segunda madre, enseñándome a salir adelante y a ser una persona trabajadora. Cada vez que he necesitado apoyo, siempre ha estado ahí, mostrándome el camino con su amor incondicional.

A mi **Mamá María De Jesús Méndez Blancarte**, quien me inspiró a estudiar y alcanzar este logro para cumplir uno de sus sueños: ver a sus hijos con un título. Le agradezco por sus enseñanzas, cariño y amor, siempre presentes, aun cuando la distancia nos separa. Este proyecto es también un tributo a ella y a sus sueños.

A mi **Persona favorita Stephanie Sánchez González**, quiero agradecerte profundamente por ser una de las personas que siempre ha confiado en mí, incluso cuando las circunstancias no eran fáciles. Gracias por tu paciencia, amor incondicional y por ser mi motivación constante. Las largas distancias y los momentos difíciles no han impedido que compartamos momentos especiales juntos. Me has enseñado a ser más fuerte, a creer en mí mismo y a seguir adelante.

A mis **hermanos** el **Ing. Ricardo González Méndez** y **Alondra Thalpachicatl Méndez**, por su apoyo constante, su confianza en mí y por las risas compartidas. Gracias por siempre estar allí para ayudarme y por ser una parte importante de mi vida.

A mis **Gatas**, por ser mis fieles compañeras en cada desvelada durante estos cuatro años. A veces, la soledad se hace presente, pero ellas siempre estuvieron a mi lado, ofreciéndome su compañía y amor.

A **Ing. Ricardo Thalpachicatl**, por su apoyo en todas las dudas que tuve sobre la escuela, por su orientación y consejos. Su paciencia y su disposición para ayudarme me motivaron siempre a seguir adelante.

A mis **Amigos**: Angel, Vicente, Jonam, Rodrigo, Gissell, Alejandra, Julls y Ximena. Agradezco cada momento compartido, las risas, las aventuras, los juegos, los consejos y, por supuesto, hasta los enojos. Gracias por estar en mi vida y ser parte de este proceso tan importante.

A **Ing. Ariel Chávez**, por tu apoyo incondicional en cada duda que tuve durante este proceso, por tus valiosos consejos y por tu paciencia. Gracias por confiar en mí desde el primer día y por brindarme no solo conocimientos, sino también un verdadero ejemplo de dedicación y profesionalismo. Tu orientación me ha impulsado a mejorar constantemente, y aprecio cada regañada, cada consejo y cada momento en el que me ayudaste a encontrar el camino correcto. Te considero más que un mentor, sino un amigo, y te agradezco por estar siempre disponible para mí.

A mis compañeros y amigos de **NPI**: Lemus, César, Lalo y Rafa, Diego, por su apoyo, por los consejos y conocimientos que me compartieron, y por ser una gran parte de mi desarrollo profesional. Gracias a todos los ingenieros de NPI por ser parte de esta etapa de mi vida.

A toda mi **familia**, quienes siempre estuvieron a mi lado, apoyándome y dándome el ánimo necesario para seguir. Gracias por su amor y apoyo incondicional.

Y a **Messi**, mi ídolo, por enseñarme a nunca rendirme. Me inspira cada día a ser mejor, a luchar por mis sueños y a superar cada obstáculo, como él lo hace en el campo. Gracias por ser una fuente constante de motivación.

RESUMEN

La empresa GENTHERM, especializada en la fabricación de PCB (*Printed Circuit Boards*) para diversas marcas de automóviles, desempeña un papel clave en la producción de componentes electrónicos esenciales para los vehículos modernos.

Este proyecto tuvo como objetivo diseñar y desarrollar un nuevo herramental para la colocación de cables en PCBs, enfocado en mejorar el tiempo de operación, la ergonomía para los operadores y la eficiencia general en la línea de producción.

Se pretende comprobar con el nuevo prototipo optimizar para la colocación de cables en los PCB de Gentherm reduciendo el tiempo de operación a menos de 4 minutos y mejorar la ergonomía del proceso, lo cual fue exitoso.

La implementación de la impresión 3D resultó fundamental para el desarrollo del prototipo, permitiendo realizar iteraciones precisas y rápidas en el diseño. Las pruebas piloto confirmaron la funcionalidad del herramental, siendo aprobado por los operadores y los ingenieros de la empresa.

En el estudio de tiempos, se logró una mejora del 25.83% en el tiempo total del proceso, lo que confirma el éxito en términos de productividad. Además, la evaluación ergonómica mostró una reducción del 85% en los riesgos asociados con las muñecas y manos de los operadores, validando la optimización del nuevo diseño.

El proyecto cumplió sus objetivos principales, mejorando tanto la eficiencia operativa como las condiciones laborales en la línea de producción, y estableciendo una base sólida para la implementación del nuevo diseño en Gentherm.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xi
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO 1. DATOS GENERALES	16
1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Objetivo General	17
1.1. Objetivos Específicos.....	17
1.2. Justificación del proyecto	17
1.3. Hipótesis	17
1.4. Alcance del proyecto.....	18
1.5. Limitaciones	18
1.6. Descripción detallada de las actividades	19
1.8 Lugar donde se realizará el proyecto	20
1.9 Información sobre la empresa.....	21
CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA.....	22
2.1 Fundamentos teóricos.....	22
2.1.1 Fundamentos del proyecto	22
2.1.2 Fundamentos para el desarrollo del proyecto	23
2.2 Filosofía de la empresa.....	24
2.2.1 Misión	24
2.2.2 Visión.....	24

2.2.3	Valores	25
2.2.4	Objetivos	25
2.3	Tecnología actual de la empresa	25
CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO		27
3.1	Diseño asistido por computadora (CAD)	27
3.1.1	¿Qué es CAD?	27
3.1.2	Diseño	28
3.1.3	Diseño de ingeniería	29
3.1.4	Definición de prototipo	29
3.1.5	Manufactura	30
3.2	Solid Edge	30
3.2.1	¿Qué es el programa Solid Edge?	30
3.3	Impresión 3D	31
3.3.1	¿Qué es la impresión 3D?	31
3.3.2	Materiales de impresión	31
3.3.3	Modelo de la Impresora 3D y características	32
3.1.4	Proceso de impresión de un objeto	34
3.1.5	Puntillas de la impresora	35
3.4	CREALITY SLICER	37
3.4.1	¿Qué es Creality Slicer?	37
3.5	Seguridad	37
3.5.1	Seguridad industrial	37
3.5.2	Accidente e incidentes	38
3.5.3	Riesgos	39
3.5.4	Tipos de riesgo	39
3.6	Ergonomía	40
3.6.1	Definición	40

3.6.2 Diseño ergonomico	41
3.6.3 Definición de Metodología RULA	41
3.6.4 Puntuación del antebrazo	42
3.6.5 Puntuación de la muñeca.....	42
3.6.6 Puntuación de la muñeca.....	44
3.6.7 Puntuación global para los miembros del grupo A.....	45
3.7 Estudio de tiempos	46
3.7.1 Definición de estudio de tiempos	46
3.7.2 Alternativas para llevar a cabo un estudio de tiempos	47
3.7.3 Estudio de tiempos por cronometro	47
3.7.4 Tipos de cronómetros	47
3.7.5 Tamaño de muestra	49
3.7.6 Definición de tiempo estándar.....	49
3.7.7 Definición de ritmo normal	50
3.7.8 Calculo de tiempo estándar	50
3.8 Ayuda Visuales.....	52
3.9 Diagrama de flujo.....	52
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA.....	54
4.1 Enfoque de investigación.....	54
4.2 Tipo de investigación	55
4.2.1 Investigación Aplicada	55
4.2.2 Investigación diseño.....	55
4.3 Instrumentos y técnicas de recolección de datos	56
4.3.1 Observación.....	56
4.3.2 Cuestionario	57
4.3.3 <i>Chekslist</i>	57
4.4 Población y muestra	58

4.5 Método.....	59
4.4.1 Objetivo 1. Análisis del proceso actual.....	59
4.4.2 Objetivo 2. Diseño del nuevo herramental	61
4.4.3 Objetivo 3. Prototipo y pruebas.....	62
4.4.4. Objetivo 4. Implementación Piloto.....	65
CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....	69
5.1 Objetivo 1. Análisis del proceso actual.....	69
5.2 Objetivo 2. Diseño del nuevo herramental	76
5.3 Objetivo 3. Prototipo y pruebas.....	92
5.4 Objetivo 4. Implementación piloto	117
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
Conclusiones.....	146
Recomendaciones.....	148
FUENTES DE INFORMACIÓN	149
ANEXOS	153
Anexo 1 Formato para el diagnóstico de la metodología RULA	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Datos generales de la empresa	21
Tabla 2 Puntuación del antebrazo.....	42
Tabla 3 Modificación de la puntuación del antebrazo	44
Tabla 4 Puntuación de la muñeca.....	44
Tabla 5 Puntuación de la desviación de la muñeca	45
Tabla 6 Puntuación del giro de la muñeca	45
Tabla 7 Puntuación global para el grupo A	46
Tabla 8 Necesidad de un nuevo herramental	75
Tabla 9 <i>Checklist</i> de la herramental actual	122
Tabla 10 <i>Checklist</i> del Nuevo Herramental.....	123
Tabla 11 Tiempo de ciclo herramental actual.....	133
Tabla 12 Tiempo de ciclo herramental nuevo	137
Tabla 13 Optimización de los recursos de la empresa.....	142
Tabla 14 Horas laborables totales y volumen de producción	143
Tabla 15 Piezas producibles	144
Tabla 16 Ahorro anual.....	144

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Imagen satelital de la empresa	20
Ilustración 2 Proceso de diseño	29
Ilustración 3 posiciones del antebrazo	42
Ilustración 4 Referencia para la medición del ángulo del antebrazo	43
Ilustración 5 Posiciones que modifican la puntuación del antebrazo	43
Ilustración 6 Posiciones de la muñeca	44
Ilustración 7 Modificación de la puntuación de la muñeca, en función de la desviación	45
Ilustración 8 Giro de la muñeca.....	45
Ilustración 9 Tipos de cronómetros	47
Ilustración 10 Diagrama de flujo.....	53
Ilustración 11 Formato de estudio de tiempo	68
Ilustración 12 Colocación de cables en la pcb	69
Ilustración 13 Aplicación de la placa metálica con imanes.....	70
Ilustración 14 Retiro de la placa metálica tras la soldadura	70
Ilustración 15 Encuesta a los operadores	71
Ilustración 16 Grafica de Comodidad del herramental	72
Ilustración 17 Grafico de Frecuencia de molestias en las muñecas.....	72
Ilustración 18 Grafico de Esfuerzo Necesario para manipular el herramental .	73
Ilustración 19 Grafico de Facilidad de colocación de cables	73
Ilustración 20 Grafico de Impacto de productividad	74
Ilustración 21 Grafica de colocación de cables	74
Ilustración 22 Riesgo físico	75
Ilustración 23 Riesgo ergonómico	76
Ilustración 24 Bocetos preliminares	78
Ilustración 25 Presentación del boceto	79
Ilustración 26 Vista del Primer Diseño Planta	80
Ilustración 27 Primer Diseño Vista Alzado	80
Ilustración 28 Primer diseño Tapa de 5 cables Vista Alzado	81
Ilustración 29 Primer diseño Tapa Vista Inferior.....	82
Ilustración 30 Vista del Segundo Diseño Planta.....	83

Ilustración 31 Vista del Segundo Diseño Alzado	84
Ilustración 32 Tercer Diseño Vista Planta	85
Ilustración 33 Diseño de Tapa Vista Planta	86
Ilustración 34 Cuarto Diseño Vista Planta	88
Ilustración 35 Diseño Final Vista Planta	89
Ilustración 36 Diseño de Tapa Final Vista Alzado	89
Ilustración 37 Planos Del Diseño Final.....	90
Ilustración 38 Planos de Diseño de Tapa Final	91
Ilustración 39 Impresora 3D Ender 3.....	92
Ilustración 40 Interfaz de usuario y pantalla LCD	93
Ilustración 41 Configuraciones predeterminadas	94
Ilustración 42 Nivelación de la cama de impresión de la impresora.....	95
Ilustración 43 Filamento PLA	96
Ilustración 44 Boquillas de la impresora 3D	97
Ilustración 45 Personalización de Boquilla.....	98
Ilustración 46 Modificación del tamaño en los ejes X, Y y Z	98
Ilustración 47 Configuración de Calidad.....	99
Ilustración 48 Configuración de Relleno.....	100
Ilustración 49 Configuración de Material	101
Ilustración 50 Configuración de Velocidad	102
Ilustración 51 Configuración de Soporte	103
Ilustración 52 Configuración de adherencia de la placa de impresión	104
Ilustración 53 Primer Diseño En <i>Creality Slicer</i>	105
Ilustración 54 Primer Diseño Impreso	106
Ilustración 55 Segundo Diseño en <i>Creality Slicer</i>	107
Ilustración 56 Segundo Diseño Imprimido.....	107
Ilustración 57 Tercer Diseño en <i>Creality Slicer</i>	108
Ilustración 58 Diseño de tapas en <i>Creality Slicer</i>	109
Ilustración 59 Tercer Diseño Imprimido.....	110
Ilustración 60 Diseño de las tapas Imprimido.....	111
Ilustración 61 Cuarto Diseño en <i>Creality Slicer</i>	112
Ilustración 62 Cuarto Diseño Imprimido	112
Ilustración 63 Soldadura de los cables a la PCB.....	113
Ilustración 64 Proceso de Impresión del Último Diseño	115

Ilustración 65 Diseño final impreso	115
Ilustración 66 Prototipo final aprobado.....	116
Ilustración 67 Preparación de la línea de producción.....	117
Ilustración 68 Ayuda visual.....	118
Ilustración 69 Entrenamiento.....	119
Ilustración 70 Reducción de molestias físicas.....	125
Ilustración 71 Aprobación.....	126
Ilustración 72 Prueba inicial	128
Ilustración 73 Moldeo	129
Ilustración 74 Prueba final.....	130
Ilustración 75 Estudio de tiempo del herramental Actual	134
Ilustración 76 Estudio de tiempo del herramental nuevo.....	138
Ilustración 77 Grafica de tiempo estándar.....	139

INTRODUCCIÓN

La empresa GENTHERM, especializada en la fabricación de PCB (*Printed Circuit Boards*) para varias marcas de automóviles, juega un papel fundamental en la producción de componentes electrónicos que son esenciales para el funcionamiento de los vehículos modernos.

Se establecieron objetivos específicos para alcanzar las metas planteadas en el proceso de optimización de la producción de PCBs en Gentherm. El proyecto se enfoca en la mejora de la ergonomía y eficiencia del proceso de colocación de cables en las placas de circuito impreso, una actividad clave en la línea de producción. Se analizaron diversas áreas del proceso, incluida la evaluación del herramental utilizado, identificando oportunidades de mejora en términos de tiempo, comodidad para los operadores y precisión. Para implementar las mejoras, se utilizaron herramientas de ingeniería industrial como el diseño asistido por computadora (CAD), impresión 3D y estudios ergonómicos, con el objetivo de ofrecer soluciones eficientes que optimicen la productividad y reduzcan riesgos laborales.

CAPÍTULO 1

En el capítulo se presentan los datos generales relevantes para comprender la situación actual en la empresa Gentherm, se identifican las problemáticas que afectan la eficiencia y ergonomía del proceso de colocación de cables en las placas de circuito. Se plantean los objetivos que guiarán el proyecto, estableciendo las metas a alcanzar en términos de mejora en la productividad, reducción de tiempos y mejora de las condiciones laborales para los operadores. Además, se justifica la necesidad de llevar a cabo el proyecto, se formula la hipótesis a comprobar, se definen los alcances a lograr, se reconocen las limitaciones que podrían surgir durante el desarrollo y se detallan las actividades necesarias para alcanzar los objetivos. Todo esto se organiza en un plan estructurado para asegurar que las actividades se realicen en el

tiempo adecuado, permitiendo obtener la información necesaria sobre el entorno de trabajo y las necesidades específicas de la empresa.

CAPITULO 2

En este capítulo se presenta el marco teórico que fundamenta el proyecto, destacando la aplicación de herramientas y metodologías clave, como el diseño asistido por computadora (CAD) y la ergonomía, en el desarrollo del nuevo herramental para la colocación de cables en PCBs. Se profundiza en la importancia de la impresión 3D como herramienta para la creación de prototipos rápidos y económicos. Asimismo, se exploran conceptos relacionados con la eficiencia operativa, la mejora de la productividad y la seguridad en los puestos de trabajo, apoyados en el uso de listas de chequeo (*checklists*) para la recolección de datos y evaluación de resultados. Posterior a esto se muestra información importante Gentherm, incluyendo su misión, visión, valores y objetivos que guían el funcionamiento de la organización, para contextualizar el proyecto dentro de su estructura y objetivos generales.

CAPITULO 3

En el marco teórico de este proyecto se presenta toda la información relevante sobre las metodologías y herramientas utilizadas, como el diseño asistido por computadora (CAD), la ergonomía y la impresión 3D. Se abordan los beneficios y la importancia de estas herramientas en la creación de prototipos de herramental, específicamente en el diseño para la colocación de cables en PCBs.

Se explora el uso del CAD para el desarrollo del diseño del herramental y su implementación en la línea de producción, así como los principios de ergonomía aplicados para reducir riesgos físicos y mejorar la comodidad de los operadores. Además, se explica el uso de la impresión 3D como método eficiente y económico para crear prototipos, destacando su capacidad para realizar ajustes rápidos y validar el diseño antes de la fabricación final. También se menciona la importancia de la medición de tiempos en el proceso productivo y el uso de herramientas como el *checklist* para evaluar la eficacia del nuevo herramental y optimizar los procesos.

CAPITULO 4

En este apartado se presenta la investigación llevada a cabo para recabar la información necesaria para la mejora del herramental, la investigación se enfoca en la recopilación de datos que permitan evaluar la efectividad del nuevo diseño en comparación con el herramental actual.

Se emplearon diversos métodos de investigación, tales como la investigación aplicada y de campo, y se utilizaron herramientas como la observación directa, entrevistas con los operadores, la implementación de un *checklist* ergonómico, y el análisis de tiempos para medir la mejora en la eficiencia del proceso.

Además, se consideraron aspectos de seguridad y ergonomía para garantizar que el diseño propuesto no solo optimice el tiempo, sino que también minimice los riesgos para los operadores en la línea de producción.

CAPITULO 5

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos tras la implementación del nuevo diseño de herramental, se analizan los datos recabados a partir de las herramientas de ingeniería industrial aplicadas, como el análisis de tiempos y la evaluación ergonómica mediante el uso del *checklist*. Además, se revisan los cambios observados en la eficiencia de la operación y el impacto en la salud y seguridad de los operadores. Se verifica si los objetivos establecidos para la mejora en el proceso de colocación de cables y la optimización del tiempo fueron alcanzados, y se evalúa si las hipótesis planteadas al inicio del proyecto fueron aceptadas o rechazadas.

CAPÍTULO 1. DATOS GENERALES

1.1. Planteamiento del problema

Gentherm es una empresa líder en el diseño y fabricación de soluciones tecnológicas avanzadas para la industria automotriz, con un enfoque especial en el desarrollo de sistemas electrónicos y de confort térmico.

Sus productos van desde sistemas de calefacción, ventilación y refrigeración para asientos de automóviles hasta componentes electrónicos como PCB (*Printed Circuit Boards*), que son esenciales para el funcionamiento de varios sistemas en los vehículos modernos. La empresa trabaja con algunas de las principales marcas de automóviles del mundo para garantizar que los productos cumplan con los más altos estándares de calidad, innovación y eficiencia.

Se ha descubierto un problema importante en el proceso de colocación de cables en los PCB en la línea de producción de Nissan.

Actualmente, los operadores utilizan un herramental con una placa de imanes para posicionar los cables antes de soldarlos. Con tiempos de operación de 6 minutos para cada tres piezas, este método resulta ineficiente y particularmente demandante, lo que limita la capacidad de producción y afecta la competitividad de la empresa.

Además, la manipulación de placas con imanes requiere un gran esfuerzo físico y movimientos repetitivos, lo que aumenta el riesgo de lesiones laborales, especialmente en las muñecas y los dedos de los trabajadores. Esto puede generar un aumento en las ausencias por motivos de salud y mayores costos operativos.

La solución propuesta no solo beneficiará a GENTHERM en términos de productividad y competitividad, sino que también fortalecerá su compromiso con la seguridad y el bienestar de sus empleados.

1.2. Objetivo General

Diseñar un molde optimizado para reducir el tiempo de colocación de cables en los PCB de GENTHERM mejorando el proceso.

1.1. Objetivos Específicos

- Analizar del proceso actual
- Diseñar del nuevo herramental
- Elaborar prototipo y pruebas
- Implementar prototipo

1.2. Justificación del proyecto

El proceso actual de colocación de cables en los PCB de la empresa GENTHERM es ineficiente y físicamente exigente, con tiempos de operación de 4 a 6 minutos y riesgo de lesiones laborales. Este proyecto busca diseñar un molde que reduzca el tiempo de colocación a menos de 3 minutos y mejore la ergonomía, incrementando la productividad y proporcionando un entorno de trabajo más seguro y saludable para los operadores.

1.3. Hipótesis

Ho: La implementación de un nuevo molde optimizado para la colocación de cables en los PCB de Gentherm reducirá el tiempo de operación a menos de 4 minutos y mejorará la ergonomía del proceso.

Ha: La implementación de un nuevo molde optimizado para la colocación de cables en los PCB de Gentherm NO reducirá el tiempo de operación a menos de 4 minutos y mejorará la ergonomía del proceso.

1.4. Alcance del proyecto

El proyecto se centra en la línea de producción de Nissan en el desarrollo e implementación de un nuevo herramental ergonómico para la colocación de cables en las PCBs, con el objetivo de mejorar la eficiencia del proceso de ensamblaje y reducir la fatiga en los operadores. A través de la metodología de diseño asistido por computadora (CAD) y la impresión 3D, se crearán prototipos que serán evaluados y optimizados para cumplir con los estándares de producción y ergonomía.

El proyecto también abarca la documentación técnica completa para facilitar la transición a la producción en serie y garantizar que el nuevo herramental se adapte a las necesidades específicas del proceso de ensamblaje de PCBs en la empresa.

1.5. Limitaciones

1. Recursos Disponibles:

- Dependencia de la disponibilidad de equipos de impresión 3D y software CAD.
- Limitación de presupuesto para materiales y pruebas.

2. Tiempo:

- El proyecto debe completarse dentro del marco temporal del anteproyecto de tesis.
- Posible limitación de tiempo para pruebas extensivas en la línea de producción.

3. Implementación Piloto:

- La implementación del molde en una línea de producción piloto puede estar sujeta a restricciones operativas.
- Los resultados de la fase piloto pueden variar y requerir ajustes adicionales.

1.6. Descripción detallada de las actividades

1. Análisis del proceso actual

- Observar y documentar el proceso actual de colocación de datos.
- Encuesta a los operadores.
- Análisis de ergonomía RULA
- Evaluar el esfuerzo físico de los operadores.
- Identificar posibles riesgos de lesiones laborales.

2. Diseño del nuevo herramental

- Desarrollo de CAD.
- Crear modelos 3D del nuevo herramental utilizando Solid Edge.
- Revisión y ajustes.
- Revisar el diseño con el equipo de manufactura y operadores.
- Incorporar *feedback* y realizar ajustes necesarios.

3. Prototipo y pruebas

- Impresión 3D del prototipo:
- Configuración en el software *Creality Slicer* y preparar archivos para la impresión 3D del molde.
- Imprimir el herramental utilizando tecnología de impresión 3D.
- Pruebas funcionales:
- Realizar pruebas iniciales con el prototipo impreso.
- Evaluar la funcionalidad y ergonomía del diseño.
- Recoger *feedback* de los operadores y hacer ajustes si es necesario.

4. Implementación Piloto:

- Preparación de la línea de producción:

- Entrenar a los operadores en el uso del nuevo herramental.
- Implementación y evaluación de la metodología RULA:
- Introducir el herramental en la línea de producción y monitorear el proceso.
- Medir el tiempo de operación del actual y del nuevo herramental
- Registrar cualquier problema o área de mejora.

1.8 Lugar donde se realizará el proyecto

En la Ilustración 1, muestra una vista satelital de la empresa:



Ilustración 1 Imagen satelital de la empresa

Fuente: <https://www.google.com.mx/maps/search/Gentherm/@20.4037437,-100.7969843,1262m/data=!3m1!1e3?entry=ttu>

1.9 Información sobre la empresa.

En la Tabla 1, se muestran los datos más importantes de la empresa, entre ellos está, el giro y el RFC de la empresa.

Tabla 1 Datos generales de la empresa

DATOS GENERALES DE LA EMPRESA	
Nombre:	Gentherm de México S.A de S.V planta 4
Giro:	Automotriz
Domicilio:	Av. Amistad #203-1 Parque Industrial Amistad Celaya Sur, 38088 Celaya, Gto.
Teléfono:	461 104 6810
E-mail:	ariel.aguilar@gentherm.com
RFC:	WSA950901RT9
Nombre del contacto:	Ariel Aguilar

Fuente: Propia

CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Fundamentos teóricos

2.1.1 Fundamentos del proyecto

Alejandro Neri Dávila (2023) diseñó, elaboró y evaluó el prototipo de un dispositivo que permite la automatización del proceso de empaquetado de obleas comestibles a pequeña escala, en la industria artesanal de la región oriente del estado de Morelos. El diseño digital de cada uno de los componentes (fijos y móviles) del prototipo, se realizó con ayuda de los softwares AutoCAD y SolidWorks. Para la elaboración se consideró como primera opción la implementación de una impresora 3D. El dispositivo se enfocó en el funcionamiento del prototipo como un todo, así como en el proceso de empaquetado de obleas de interés.

Javier Benito Blanco (2020) realizó una fabricación, montaje y prueba de un prototipo de dedo protésico sensorizado que irá posteriormente colocado en una prótesis de mano, que a su vez irá colocada en una prótesis de brazo, basándonos en tecnología de impresión 3D. Implementando al mundo de las prótesis y dispositivos médicos, pues permiten, por un costo muy pequeño y con cierta rapidez, sustituir total o parcialmente distintas piezas, así como preconizarlas, si estamos hablando de prótesis, o fabricar distintos elementos necesarios para el funcionamiento de aparatos médicos indispensables para la atención de pacientes en un corto espacio de tiempo, un tiempo crucial dependiendo de enfermedad o patología clínica.

Darwin Gustavo Jaque Puca (2022) diseñó un prototipo de la mano articulada en el CAD utilizando los materiales resistentes, simulando el funcionamiento del movimiento de la articulación de la prótesis con la ayuda del software SolidWork, utilizando el proceso de manufactura aditiva FDM para la impresión 3D y construcción de la prótesis de la mano articulada, validando el funcionamiento del prototipo de la prótesis de la mano mediante pruebas de agarre y movilidad de las articulaciones.

Luis Jhonatan Becerra Ramos (2024) llevo a cabo un estudio de la metodología RULA que fue determinar y analizar los factores de riesgo ergonómicos asociados con las tareas y condiciones de trabajo del personal administrativo dentro de su ambiente laboral, estas metodologías permitieron una evaluación sistemática de las posturas de trabajo, movimientos repetitivos y otros factores ergonómicos los cuales podrían tener impactos negativos en la salud del personal administrativo, se identificó posturas incómodas y movimientos repetitivos que podrían llevar a molestias musculoesqueléticas y fatiga en el personal administrativo. Además, se proporcionó recomendaciones específicas para mitigar estos riesgos ergonómicos y mejorar las condiciones de trabajo.

Lilian Adriana Cevallos Tapia (2021) Realizo un diseño ergonómicamente un puesto de trabajo con exposición a posturas incómodas para la cajera en supermercados pertenecientes a la empresa, El estudio empezó con la identificación de los ángulos de las extremidades superiores y el cuerpo, así como sus penalizaciones por la ejecución de la actividad. Luego se realizó un estudio de comparación de las variables con el método RULA para identificar los elementos que son factibles de modificación. Para finalmente escoger una altura adecuada del plano de trabajo.

2.1.2 Fundamentos para el desarrollo del proyecto

La necesidad de optimizar el proceso de colocación de cables en los PCB utilizados en la línea de producción de Gentherm para Nissan es la base del desarrollo del presente proyecto. Debido al uso de un herramental con imanes, la eficiencia del proceso actual es limitada y presenta riesgos ergonómicos significativos para los operadores.

La salud y el bienestar de los empleados son esenciales para cualquier empresa. Los trastornos musculoesqueléticos son más comunes en personas que tienen posturas y movimientos repetitivos. La metodología de evaluación de muñeca superior rápida (RULA) ofrece una herramienta estructurada para identificar estos riesgos, lo que permite rediseñar el herramental para reducir las tensiones físicas sobre las muñecas y los dedos de los operadores.

El uso de herramientas de Diseño Asistido por Computadora (CAD), como Solid Edge, permite crear modelos precisos y optimizados del nuevo herramental. Este enfoque permite simular diversas soluciones antes de la creación de prototipos físicos, ahorrando tiempo y recursos.

El uso de herramientas optimizadas mejora la ergonomía y la eficiencia productiva al reducir el tiempo de operación de 4 a 6 minutos a menos de 4 minutos. Esto responde a la necesidad de mantener y mejorar la competitividad en un mercado automotriz exigente, alineándose con la filosofía de mejora continua y calidad total.

Hasta el momento, la empresa no ha implementado un proyecto similar al desarrollado en este trabajo. No se habían aplicado metodologías ergonómicas específicas para evaluar el impacto del herramental en los operadores ni se había explorado el uso de impresión 3D para el desarrollo y optimización de herramientas. La implementación de esta tecnología ha permitido iterar rápidamente en el diseño del herramental, logrando una solución más eficiente sin incurrir en altos costos de fabricación. Este proyecto representa un enfoque innovador dentro de la empresa y sienta las bases para futuras mejoras en otros procesos de manufactura.

2.2 Filosofía de la empresa

2.2.1 Misión

Nuestra misión es crear y ofrecer soluciones innovadoras de gestión térmica que mejoran la salud, bienestar y la comodidad de las personas de todo el mundo.

2.2.2 Visión

Nuestro compromiso con la calidad brinda una gran tranquilidad a nuestros clientes y nuestro servicio de laboratorios de pruebas abarca departamentos multifuncionales que incluyen diseño, ingeniería y desarrollo avanzado en todo el mundo.

2.2.3 Valores

Los valores afines que buscan entre sus colaboradores son cuatro comportamientos de cultura ganadora de enfoque en el cliente: compromiso e inclusión de los empleados, mentalidad global, rendimiento y responsabilidad.

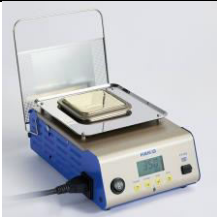
2.2.4 Objetivos

La empresa Gentherm es líder mundial en el desarrollo y comercialización de tecnologías de gestión térmica para la calefacción, refrigeración y control de temperatura. Entre sus objetivos se encuentran:

- Diseñar, desarrollar y comercializar productos termoeléctricos para una amplia gama de mercados globales.
- Producir sistemas de confort para automóviles, como sistemas de calentamiento y enfriamiento de asientos y porta bebidas.
- Generar empleos directos.
- Ofrecer servicios sociales y atención médica a los trabajadores y sus familias.
- Dar la oportunidad a los empleados de seguir estudiando y creciendo profesionalmente.

2.3 Tecnología actual de la empresa

Tabla 3. Tecnología actual de la empresa

Equipos	Imagen	Descripción
Schleuniger ecostrip 9380 price		Se utiliza cortes de lote por parámetros y desforre de cables de diferentes calibres, bajo programación.
HAKKO fx-305		Caldera de estaño a bajo de resistencia y ayuda para estañar cables.

Computadora		Robot soldador a base de coordenadas con integración para control de temperatura enfocado al soldado con estaño.
EOL		Prueba funcional a final de la línea (POKA YOKE).
MULTIPLAS		Prensa de moldeo, a base de inyección husillo, por medio de polipropileno.
Software		
Office (2020)	Se utiliza para cargar los softwares de la EOL al sistema.	
Solid Edge	Software utilizado para el Diseño de prototipo de herramental.	
<i>LABVIEW</i>	Es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas con un lenguaje de programación visual grafico pensado para sistemas hardware y software de pruebas de control y diseño, simulado o real y embebido.	
<i>Crelity Slicer</i>	Es un software que convierte modelos 3D en instrucciones para impresoras 3D. Ofrece configuraciones predeterminadas y avanzadas, permitiendo ajustar parámetros como temperatura y velocidad para optimizar la impresión.	

Fuente: Propia

CAPITULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1 Diseño asistido por computadora (CAD)

3.1.1 ¿Qué es CAD?

La herramienta de diseño asistido por computadora (CAD) facilita la creación, modificación y visualización de objetos virtuales, tales como componentes y conjuntos mecánicos. Se originó en los años sesenta y desde aquel momento se ha empleado para elaborar planos y modelar objetos. CAD también permite el análisis virtual o la simulación de la conducta de un modelo bajo diversas circunstancias, tales como fuerzas, movimientos y fenómenos físicos.

El software para el diseño asistido por computadora (CAD) permite el desarrollo de diseños tridimensionales (3-D) a partir de los cuales pueden producirse vistas ortográficas convencionales en dos dimensiones con dimensionamiento automático, para la creación rápida de prototipos y manufactura; ¡manufactura sin papeles! Del mismo modo, pueden obtenerse con facilidad otras propiedades como áreas y distancias entre puntos (Budynas & Nisbett, 2008).

En la actualidad el proceso de construir y estudiar modelos analíticos se simplifica mediante el uso de las técnicas de diseño asistido por computadora (CAD), ingeniería asistida por computadora (CAE) y manufactura asistida por computadora (CAM). CAD permite un amplio rango de actividades, desde el modelado geométrico en 2D y 3D hasta la creación de dibujos que documentan el diseño para la manufactura y las consideraciones legales (Giesecke, et al., 2013).

Actualmente, CAD continúa progresando y se hace cada vez más sencillo de utilizar. Se divide en CAD 2D, que muestra los objetos en dos dimensiones, y CAD 3D, que los modela en tres dimensiones, a pesar de que se representan en una pantalla de dos dimensiones (Alonso, 2006).

El diseño asistido por computadora (CAD) implica la utilización de programas de computación para generar, alterar, examinar y registrar representaciones gráficas bidimensionales o tridimensionales (2D o 3D) de objetos físicos, en sustitución de los diseños manuales y los prototipos de productos. El CAD es ampliamente empleado en la animación computacional y en los efectos especiales de los medios de comunicación, además de su uso en el diseño industrial y de productos (SIENMS, 2024).

3.1.2 Diseño

El autor L.Norton (2009) menciona que el diseño es un constituyente universal de la práctica de ingeniería. Además, G.Budynas & J.Keith (2008) dicen que es un proceso innovador y altamente iterativo.

El diseño es un proceso que se emplea para crear soluciones a un problema, combinando tres elementos: los principios teóricos o la experiencia acumulada, los recursos disponibles en la localidad y los productos existentes en el mercado (Martínez de Barranco & Guillón Florimon, 2000).

El diseño del producto es una tarea crucial, ya que se calcula que entre el 70% y 80% del costo de desarrollo y producción de un producto se determina por las decisiones adoptadas en las fases iniciales del diseño (JIMCONTENT, 2020).

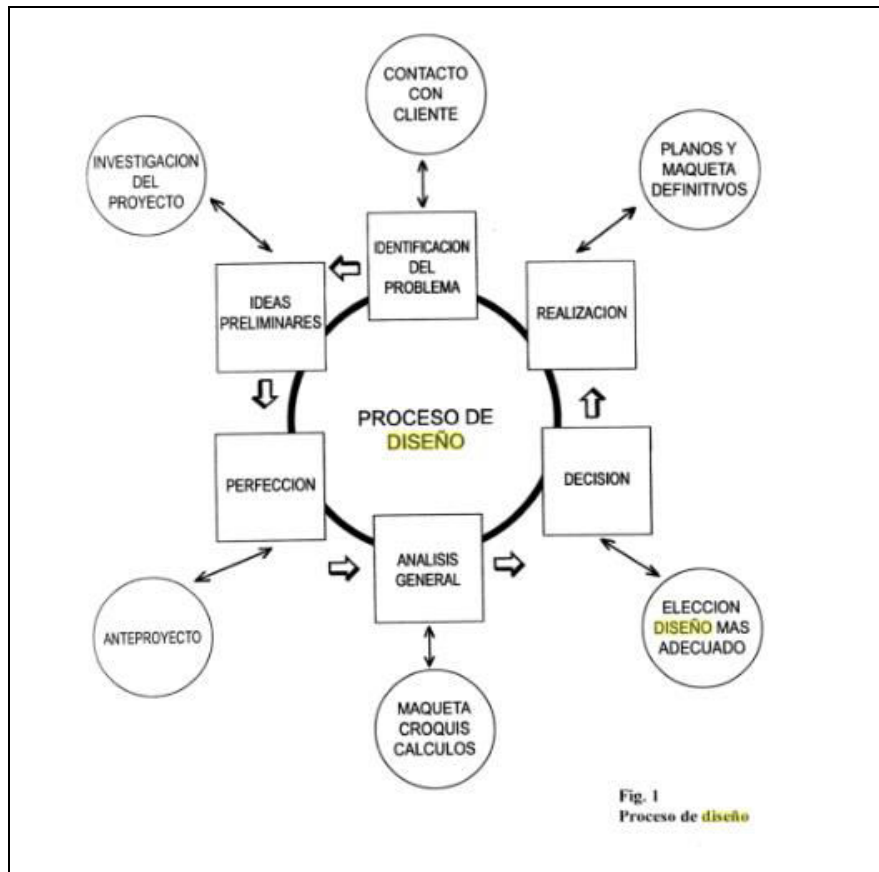


Ilustración 2 Proceso de diseño
Fuente: Martínez de Barranco & Guillón Florimon (2008)

3.1.3 Diseño de ingeniería

Es el proceso de aplicar las diversas técnicas y principios científicos con el propósito de definir un dispositivo, un proceso o un sistema con suficientes detalles que permitan su realización, puede ser simple o muy complejo, fácil o difícil, matemático o no matemático; puede implicar un problema trivial o uno de gran importancia (Norton, 2009).

3.1.4 Definición de prototipo

La elaboración de un prototipo consiste en crear una representación inicial de un producto o sistema, que puede ser funcional o no. Este prototipo se utiliza para probar y evaluar aspectos específicos del diseño, permitiendo realizar correcciones y ajustes. Además, puede referirse a la creación del primer modelo de una serie que sea completamente funcional, incorporando características seleccionadas que reflejan algunas, pero no todas, las funcionalidades principales del sistema. La elaboración de prototipos es una

etapa crucial en el proceso de diseño, ya que facilita la identificación de mejoras antes de la producción final y permite la validación de ideas a través de pruebas prácticas (Kenneth E. & Julie E., 2005).

3.1.5 Manufactura

Manufactura, es el proceso de convertir materias primas en productos. También comprende las actividades en que el propio producto fabricado se utiliza para elaborar otros productos (Kalpakjian & R. Schmid, 2008).

3.2 Solid Edge

3.2.1 ¿Qué es el programa Solid Edge?

Solid Edge es un software de diseño asistido por computadora (CAD, Design Asistido por Computadora) que se introdujo en el mercado en 1995 bajo el nombre de Intergraph y que a partir de 1998 se vende por Unigraphics. Como aplicación de modelado virtual, Solid Edge se ha diseñado específicamente para producir modelos tridimensionales de componentes y grupos. Además, incluye instrumentos para la representación plana de estos objetos, permitiendo la ejecución normal de planos en 2D (Alonso, 2006).

Solid Edge es un programa cómodo que simplifica a los usuarios la creación de diseños complejos de forma eficaz. Este software ha potenciado de manera notable la experiencia del usuario, situándolo como uno de los sistemas CAD mecánicos más grandes y famosos. Además, facilite la determinación exacta de las propiedades y el objetivo de cualquier modelo tridimensional (3D) o conjunto mediante sus especificaciones y uso (Tickoo, 2022).

Se trata de un conjunto de herramientas de software gigantescas y de uso sencillo que cubren todos los elementos del proceso de creación de productos. Solid Edge fusiona la rapidez y facilidad del modelado directo con la adaptabilidad y el control del diseño paramétrico, todo esto mediante la tecnología síncrona (SIEMENS, 2023).

Solid Edge ofrece las características en la nube que requiere y facilita el acceso a CAD 3D profesional desde varios dispositivos, la configuración inmediata de su ambiente de CAD según sus gustos personales, y la habilidad de compartir sus datos de manera rápida entre todos sus diseñadores, además de compartírselos con clientes y proveedores. Con Solid Edge en la nube, se reducirá la necesidad de soporte tecnológico y permitirá al equipo de TI enfocarse en proyectos de incremento de la productividad en vez de enfocarse en el mantenimiento del sistema diariamente (SIEMENS, 2023).

3.3 Impresión 3D

3.3.1 ¿Qué es la impresión 3D?

La impresión 3D es una tecnología que permite fabricar objetos en tres dimensiones utilizando diseños digitales. Funciona depositando capas sucesivas de material, como plástico, metales, polvo o fibra de carbono, guiada por planos virtuales. Esta tecnología ha transformado la manufactura y otros sectores, ya que facilita la creación de objetos de manera más rápida y eficiente que los métodos tradicionales (Berchon & Luyt, 2016).

3.3.2 Materiales de impresión

Todos los materiales termoplásticos empleados en la impresión 3D poseen propiedades singulares que los convierten en idóneos para usos particulares (Martin Cruz, 2019).

PLA (Poliácido láctico): Por su naturaleza biodegradable, es perfecto para proyectos que buscan minimizar el impacto en el medio ambiente. Además, su sencillez de manejo lo convierte en muy usado en la impresión en el hogar y para prototipos rápidos que no necesitan robustez estructural (Martin Cruz, 2019).

ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno): Aunque es más complicado de imprimir que el PLA, el ABS se destaca en usos industriales que requieren mayor resistencia, como en componentes de vehículos o en elementos de

productos electrónicos. Es un material sólido que aguanta de manera adecuada los impactos y las temperaturas elevadas (Martin Cruz, 2019).

HIPS (Poliestireno de Alto Impacto): Además de ser utilizado como material de apoyo, también es resistente a impactos y se disuelve con facilidad en un disolvente conocido como limoneno, lo que simplifica la supresión de estructuras de apoyo en impresiones complejas (Martin Cruz, 2019).

PET (Tereftalato de Polietileno): Frecuentemente se emplea en usos que necesitan contacto con alimentos y bebidas, gracias a su resistencia química y seguridad en alimentos. Resulta perfecto para la impresión de elementos que necesitan una gran transparencia y resistencia mecánica (Martin Cruz, 2019).

FLEXIBLE (TPU u otros elastómeros): Este material es ideal para la impresión de componentes que exigen flexibilidad, tales como uniones, sellos o carcasas de protección. Pese a su mayor complejidad en la impresión, su elasticidad lo convierte en ideal para usos donde los objetos requieren doblarse o comprimirse sin fracturarse (Martin Cruz, 2019).

Cada material puede presentar fluctuaciones dependiendo de los aditivos empleados, los cuales pueden potenciar características como la resistencia al calor, la rigidez o la conductividad eléctrica, expandiendo aún más las oportunidades de uso en áreas como la ingeniería, la medicina y la moda (Martin Cruz, 2019).

3.3.3 Modelo de la Impresora 3D y características

Este modelo de impresora 3D Open Source, permite imprimir de forma asequible numerosos tipos de filamento: PLA, ABS, PETG, flexible, entre otros en un volumen de impresión por encima del estándar. Tiene un diseño innovador, y sobre todo es muy fácil de manipular para realizar cualquier cambio de pieza o mejora, o simplemente para trabajar con ella (Create, 2022).



Imagen 1 Impresora 3D Ender 3
Fuente: Create (2022)

Características:

- Impresora 3D *Open source* (permite cualquier tipo de modificación)
- Filamentos de terceros.
- Materiales: **PLA, ABS, PETG, Flexible 95A, composites, etc.**
- Volumen de impresión por encima del estándar.
- Económica.
- Fácil nivelación.
- Extrusor optimizado.
- Suministro de energía de alta calidad y segura.
- Dispone de cama caliente (Create, 2022).

Especificaciones técnicas

- Tipo de extrusión: FDM (Sistema Bowden).
- Volumen de construcción: 220 x 220 x 250 mm.
- Diámetro filamento: 1,75 mm.
- Diámetro boquilla: 0.4 mm.
- Espesor de capa: 0.1 – 0.35 mm.
- Precisión: +/-0.1 mm.
- Temperatura máxima extrusor: 255 °C.
- Temperatura máxima de cama: 110 °C.
- Velocidad máxima de trayecto: 180 mm/s.
- Formatos modelo 3D: STL, OBJ, G-Code
- Conectividad: Tarjeta SD y cable USB.

- Sistemas operativos compatibles: Windows/ Mac/ Linux.
- Chasis: Perfiles V-Slot de aluminio.
- Dimensiones de la impresora 3D: 440 x 410 x 465 mm.
- Peso: 8.6 Kg.
- Peso neto: 10 Kg.
- Embalaje Dimensiones: 600 x 350 x 160 mm.
- Entrada: AC 100-265V 50-60Hz.
- Salida DC 24V 15A 360W.
- Enchufe de enchufe de la UE (create, 2022).

3.1.4 Proceso de impresión de un objeto

Para poder imprimir un objeto, primero se necesita en formato digital o 3D. Este 3D es procesado por los programas de impresión 3D para generar los movimientos que tiene que realizar la 3D para imprimirlo.

Para imprimir un objeto se usa la impresión por capas, los programas de impresión dividen los 3D en capas. Estas capas son el conjunto de movimientos que tiene que realizar la 3 para su impresión (Martin Cruz, 2019).

Las capas están compuestas como mínimo por un perímetro. Este perímetro tiene un grosor denominado cascarón. Las capas pueden tener uno o varios perímetros, ya que pueden contener huecos o cascarones internos.

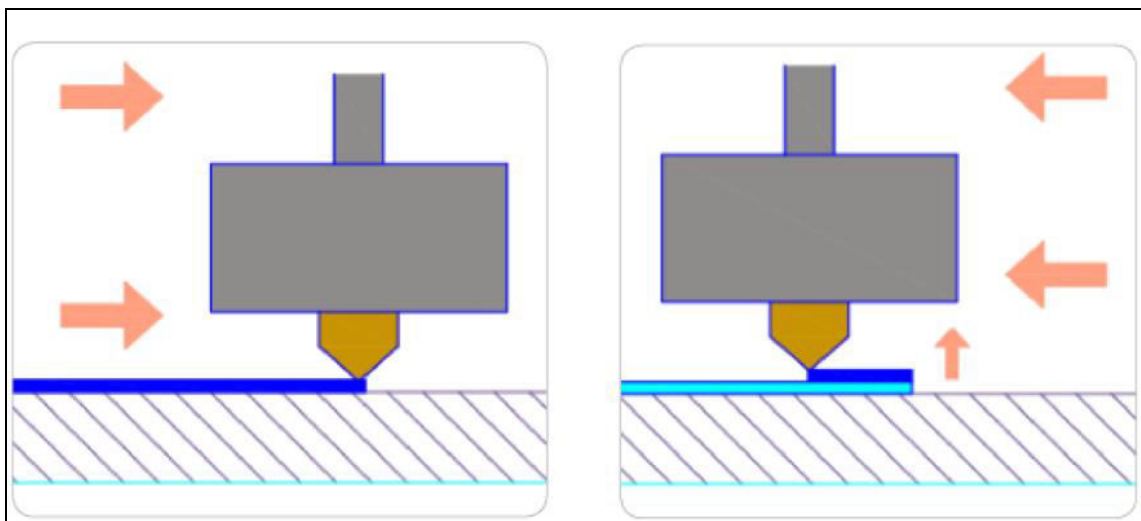


Imagen 2 Proceso de impresión

Fuente: Martin Cruz (2019)

Al imprimir y montar las capas, la Impresora 3D fabrica el objeto; en función del tipo de capa que forme el objeto, las impresiones serán macizas, seminuevas o huecas. La impresión estará compuesta de distintos tipos de grupos de capas las cuales son:

- Superficie de impresión: Es la plataforma donde se colocan las capas de material durante la impresión. A menudo se le agrega un material adhesivo, como laca para el cabello, para ayudar a que las capas se adhieran mejor.
- Primera capa: Es la primera capa de material que se imprime y que sirve para unir la superficie de impresión con las demás capas que se van a formar después.
- Base de la figura: Son las primeras capas de material que sirven como soporte para construir el resto del objeto.
- Capas intermedias: Estas capas pueden ser completamente sólidas, parcialmente rellenas o huecas, dependiendo del diseño del objeto.
- Capas finales: Son las capas macizas que se colocan al final de la impresión para cerrar y darle la forma final al objeto. No necesariamente están al mismo nivel y puede haber varias capas finales.
- Relleno: Es una estructura en forma de malla dentro del objeto, cuyo nivel de densidad varía según la configuración. Aumenta la resistencia del objeto y ayuda a dar soporte a las capas finales (Martin Cruz, 2019).

3.1.5 Puntillas de la impresora

La boquilla 3D es una de las partes más importantes de la impresora 3D, que debemos mantener y preservar su vida útil. Es un componente muy pequeño que desempeña una función vital en la impresora 3D, teniendo un impacto significativo en el tiempo y calidad de la impresión. Sin una buena impresora no tendríamos una buena impresión, por ello es muy importante elegir la boquilla 3D correcta (Impresora 3D, 2023).

Ventajas y desventajas de usar toberas de diferentes tamaños

Puntilla pequeña (0.8 mm o menor)

Ventajas:

- **Mayor detalle y precisión:** Las toberas más pequeñas permiten crear capas más delgadas, capturando detalles finos y geometrías complejas con mayor precisión. Esto es ideal para piezas donde se requiere alta resolución.
- **Acabado superficial:** Produce una superficie más lisa y uniforme, ya que las capas son más finas y menos visibles, lo cual es beneficioso para prototipos estéticamente importantes o con tolerancias ajustadas.

Desventajas:

- **Tiempo de impresión:** Al ser más delgada, se necesita más tiempo para completar la impresión, especialmente en piezas de gran volumen o tamaño.
- **Fragilidad:** Las capas delgadas pueden ser menos robustas, lo que podría resultar en una menor resistencia estructural en ciertas aplicaciones (Impresora 3D, 2023).

Puntilla grande (1.0 mm o mayor)

Ventajas:

- **Optimización de tiempos:** Al tener un diámetro mayor, la puntilla de 1.0 mm permite depositar más material en menos tiempo, reduciendo significativamente el tiempo total de impresión. Esto fue beneficioso en las últimas etapas de desarrollo, cuando se priorizaba la rapidez sobre el nivel de detalle.
- **Robustez de la estructura:** Las capas más gruesas suelen ser más resistentes, lo cual mejora la durabilidad del prototipo en aplicaciones funcionales donde se requiere mayor resistencia (Impresora 3D, 2023).

Desventajas:

- **Menor precisión y detalle:** La puntilla de mayor tamaño puede comprometer el nivel de detalle y la precisión de piezas con geometrías finas, ya que las capas son más gruesas y visibles, lo cual limita la fidelidad de los detalles.
- **Acabado menos uniforme:** Con capas más gruesas, el acabado superficial puede ser más rugoso o irregular, lo que puede requerir un acabado posterior si se necesita una apariencia pulida (Impresora 3D, 2023).

3.4 CREALITY SLICER

3.4.1 ¿Qué es Creality Slicer?

Creality Slicer es un software de corte por deposición fundida desarrollado por Creality para impresoras 3D. Es una herramienta que permite:

- Controlar y monitorear la impresora 3D de forma remota.
- Imprimir directamente desde la computadora (Abhijit & Rahul, 2023).

Desempeña un papel crucial en el proceso de producción de los equipos paralelos. Ofrece varias funciones importantes que garantizan la impresión exitosa del diseño (Indro & Ayu, 2023).

3.5 Seguridad

3.5.1 Seguridad industrial

La seguridad es la disciplina enfocada en la prevención de accidentes, tanto en el entorno laboral como en otros ámbitos, como el transporte o el hogar. En el caso de la seguridad industrial, se refiere al conjunto de técnicas diseñadas para evitar accidentes en el ámbito laboral. A lo largo del tiempo, la importancia y el enfoque hacia la seguridad industrial han ido evolucionando (Creus & Mangosio, 2011).

La seguridad en el trabajo consiste en un conjunto de métodos y procedimientos destinados a eliminar o reducir la probabilidad de que ocurran accidentes laborales (Arellano & Rodriguez, 2013).

3.5.2 Accidente e incidentes

Los accidentes de trabajo implican lesiones, alteraciones funcionales, inmediatas o tardías, o incluso la muerte, que ocurren de manera repentina durante la realización de actividades laborales o como consecuencia de ellas, sin importar el lugar o el momento en que sucedan (Arellano & Rodriguez, 2013).

Todo accidente es el resultado de la interacción entre riesgos físicos y errores humanos. No obstante, desde la perspectiva del sistema hombre-máquina-entorno, se considera que, en la mayoría de los casos, los accidentes ocurren debido a comportamientos inadecuados por parte de las personas (Cruelles, 2013).

Cualquier evento no intencionado en el lugar de trabajo que no resulte en una lesión grave se considera un incidente. Esto puede incluir daños, peligros o lesiones leves que pongan en riesgo la productividad y el éxito del proyecto. Aunque los incidentes no causen lesiones graves, pueden aumentar la probabilidad de que ocurran en el futuro. Por lo tanto, es crucial prevenir tanto los "incidentes" como los "accidentes" (Ibarra, 2023).

Un incidente es comparable a un accidente, pero no provoca lesiones ni daños a bienes o procesos. Un peligro, por su parte, es el potencial de que, durante una actividad o situación, se produzca una transferencia no deseada de energía debido a variaciones inesperadas en las operaciones normales o a cambios en factores físicos o humanos (Creus & Mangosio, 2011).

3.5.3 Riesgos

El riesgo es la probabilidad de que, durante un periodo de actividad, un peligro desencadene un accidente con consecuencias específicas (Creus & Mangosio, 2011).

En muchos casos, cerca de 9 de cada 10 lesiones en los lugares de trabajo pueden anticiparse. Es probable que exista una relación similar en la que la presencia de energía, en alguna forma, cause daños si no se implementan los controles adecuados. Esto implica que, con el conocimiento necesario y su correcta aplicación, la mayoría de las lesiones podrían evitarse (Grimaldi & Simonds, 1996).

3.5.4 Tipos de riesgo

- Riesgos físicos: Estos riesgos impactan a los trabajadores en entornos laborales perjudiciales. Pueden incluir daños auditivos debido a niveles elevados de ruido, vibraciones generadas por maquinaria, así como efectos lumínicos como el deslumbramiento y la posible pérdida de visión. También se consideran riesgos asociados a la humedad y a temperaturas extremas (SELECT BUSINESS, 2022).
- Las sustancias químicas pueden ingresar al organismo principalmente a través de la inhalación, la absorción por la piel o la ingestión. Los contaminantes químicos se pueden encontrar en productos de limpieza, pinturas, ácidos, disolventes, vapores y humos generados por procesos de soldadura, así como en gases, materiales inflamables, combustibles, solventes, explosivos y pesticidas, entre otros (CTAIMA, 2023).
- Riesgos ergonómicos: Estos riesgos dan lugar a trastornos musculoesqueléticos, afectando principalmente la espalda, el cuello, los hombros y las extremidades. Incluyen cualquier daño o afección de las articulaciones y otros tejidos. Los problemas de salud pueden variar desde molestias y dolores leves hasta condiciones más serias que requieren licencia médica o tratamiento. Los principales problemas ergonómicos suelen originarse en posturas inadecuadas, la manipulación manual de cargas, movimientos repetitivos y la aplicación de fuerza. Por ejemplo, esto puede incluir realizar movimientos

repetidos, levantar cargas excesivas o simplemente usar una silla incómoda durante períodos prolongados (CTAIMA, 2023).

- Riesgos biológicos: Se refieren a la exposición a virus, hongos, parásitos o bacterias que pueden causar enfermedades (CTAIMA, 2023).
- Riesgos mecánicos: Estos riesgos surgen de la utilización de equipos defectuosos, el trabajo en superficies inseguras, la manipulación inadecuada de maquinaria y trabajos en altura, entre otros. Pueden tener graves consecuencias, como lesiones corporales, quemaduras, cortes, contusiones, enfermedades e incluso la muerte (CTAIMA, 2023).
- Riesgos psicológicos: Los riesgos psicosociales se refieren a las condiciones laborales que afectan la salud psicológica, física y social del trabajador. Por ejemplo, los empleados pueden experimentar estrés debido a un ritmo de trabajo excesivo, falta de descanso o una monotonía excesiva. La prevención es crucial en este ámbito para evitar el desarrollo de patologías como la ansiedad, la depresión o el síndrome de Burnout (Abhijit & Rahul 2023).
- Riesgos ambientales: Se consideran uno de los tipos de riesgos laborales menos controlables, ya que provienen de fenómenos naturales. Situaciones como terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones o tormentas pueden impactar a los trabajadores. Dentro de esta categoría también se incluyen los riesgos antropogénicos, que son causados por acciones humanas imprevistas (SELECT BUSINESS, 2022).

3.6 Ergonomía

3.6.1 Definición

La ergonomía es el estudio del trabajo, entendiendo este término como cualquier actividad humana con un propósito, no solo la relacionada con la obtención de beneficios económicos. Su objetivo es analizar cómo el operador humano interactúa con su entorno, considerando factores que influyen en su rendimiento y bienestar, como el diseño de herramientas, el control de sistemas y la adaptación a diversas condiciones. La ergonomía busca establecer condiciones óptimas para las actividades, evaluando el impacto de factores

como el calor, el ruido y la carga física o mental, y garantizando que los entornos de trabajo fomenten el uso efectivo de las habilidades humanas. En esencia, la ergonomía coloca al ser humano en el centro del diseño, asegurando que la tecnología y el entorno sirvan para mejorar su desempeño (Wolfgang & Joachim, 1998).

La ergonomía es la ciencia de impedir lesiones musculares y óseas en el lugar de trabajo. Es el estudio del diseño del sitio laboral y la integración de los trabajadores con su ambiente. Proviene de dos vocablos griegos: ergon, que significa “trabajo”, y nomos, que significa “reglas o leyes”. “Ergonomía” podría traducirse como “leyes o reglas para desempeñar o hacer el trabajo”, también se refiere a factores humanos o a ingeniería humana (E. Meyers & P. Stephens, 2006).

3.6.2 Diseño ergonómico

Diseñar el trabajo o la estación de manufactura de modo que la tarea se adapte a la persona, en lugar de forzar al cuerpo humano o a la psique a adaptarse al trabajo. Hay un campo de la ergonomía que se denomina antropometría, que proporciona la perspectiva sobre las proporciones físicas del cuerpo humano (E. Meyers & P. Stephens, 2006).

3.6.3 Definición de Metodología RULA

El método rula (Rapid Upper Limb Assessment) fue desarrollado para evaluar la exposición de los trabajadores a factores de riesgo que puede ocasionar trastornos musculoesqueléticos en los miembros superiores del cuerpo, tales como las posturas adoptadas, la repetitividad de los movimientos, la fuerza aplicada o la actividad estática del sistema musculoesquelético.

El método RULA evalúa posturas concretas; por lo tanto, es importante examinar aquellas que supongan una carga postural más elevada (Asensio, Sabina, Bastante, Maria & Jose, 2012).

3.6.4 Puntuación del antebrazo

Se analizará la posición del antebrazo, la puntuación asignada al antebrazo será nuevamente función de su posición (Asencio, et al., 2012).

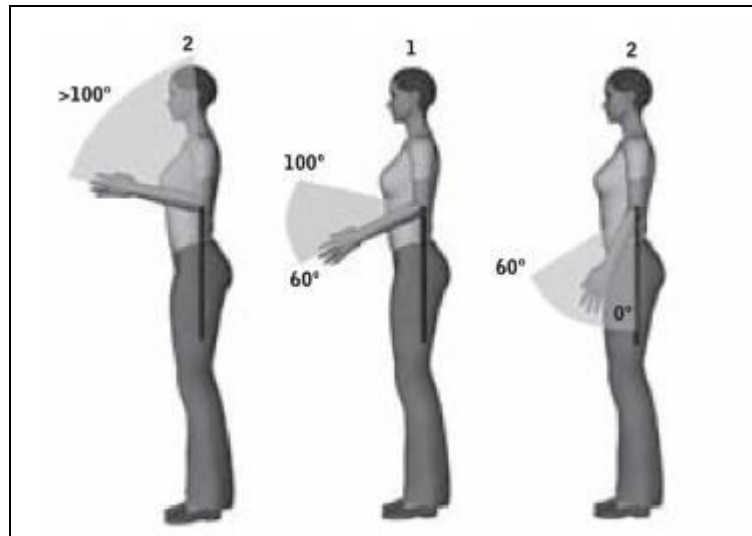


Ilustración 3 posiciones del antebrazo
Fuente: Asencio, et al., (2012).

Tabla 2 Puntuación del antebrazo

Puntos	Posición
1	flexión entre 60° y 100°
2	flexión < 60° o > 100°

Fuente: Asencio, et al., (2012).

Es importante que el tronco está flexionando, los ángulos deben ser desde el eje del tronco (Asencio, et al., 2012).

3.6.5 Puntuación de la muñeca

El primer lugar, se determina el grado de flexión de la muñeca (Asencio, et al., 2012).

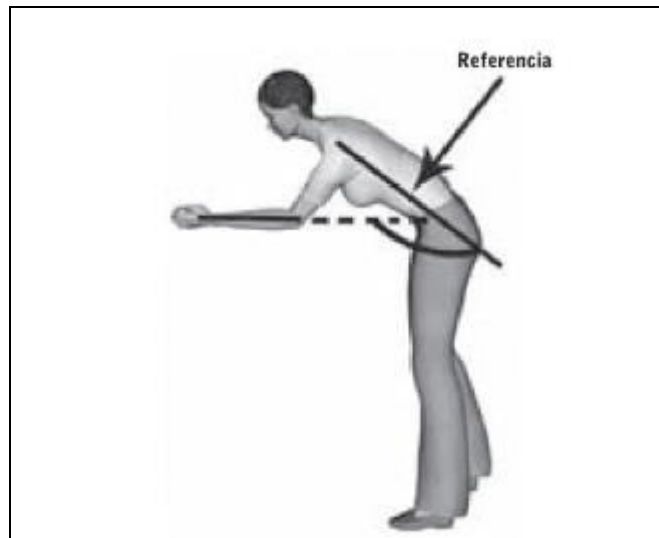


Ilustración 4 Referencia para la medición del ángulo del antebrazo
Fuente: Asencio, et al., (2012).

La puntuación asignada al antebrazo podrá verse aumentada en dos casos: si el antebrazo cruzara la línea media del cuerpo, o si la proyección del antebrazo se mas allá de la proyección vertical del codo (Asencio, et al., 2012).

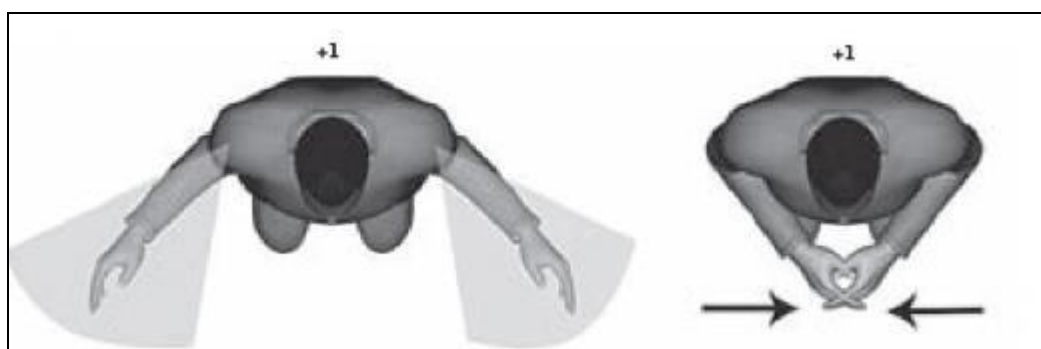


Ilustración 5 Posiciones que modifican la puntuación del antebrazo
Fuente: Asencio, et al., (2012).

Tabla 3 Modificación de la puntuación del antebrazo

Puntos	Posición
+1	Si la proyección vertical del antebrazo se encuentra más allá de la proyección vertical del codo.
+1	Si el antebrazo cruza la línea central del cuerpo.

Fuente: Asencio, et al., (2012).

3.6.6 Puntuación de la muñeca

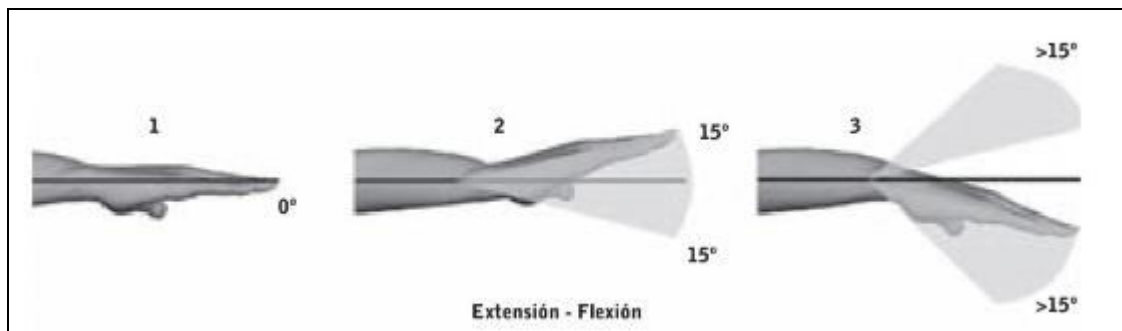


Ilustración 6 Posiciones de la muñeca

Fuente: Asencio et al., (2012).

Tabla 4 Puntuación de la muñeca

Puntos	Posición
1	Si está en posición neutra respecto a flexión.
2	Si está flexionada o extendida entre 0° y 15°.
3	Para flexión o extensión mayor de 15°.

Fuente: Asencio, et al.,(2012).

El valor calculado para la muñeca se verá modificado si existe desviación radial o cubital. En ese caso se incrementa en una unidad dicha puntuación (Asencio, et al., 2012).



Ilustración 7 Modificación de la puntuación de la muñeca, en función de la desviación
Fuente: Asencio, et al., (2012).

Tabla 5 Puntuación de la desviación de la muñeca

Puntos	Posición
+1	Si está desviada radial o cubitalmente.

Fuente: Asencio, et al., (2012).

Obteniendo la puntuación de la muñeca se valorará el giro de esta (Asencio, et al., 2012).

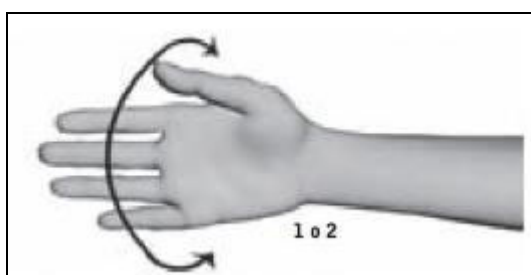


Ilustración 8 Giro de la muñeca
Fuente: Asencio, et al., (2012).

Tabla 6 Puntuación del giro de la muñeca

Puntos	Posición
1	Si existe pronación o supinación en rango medio.
2	Si existe pronación o supinación en rango extremo.

Fuente: Asencio, et al., (2012).

3.6.7 Puntuación global para los miembros del grupo A

Con la puntuación de brazo, antebrazo, muñeca y giro de muñeca, se asignará mediante una puntuación global para el grupo A (Asencio, et al., 2012).

Tabla 7 Puntuación global para el grupo A

Brazo	Ante-brazo	Muñeca							
		1		2		3		4	
		Giro de Muñeca		Giro de Muñeca		Giro de Muñeca		Giro de Muñeca	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	1	2	2	2	2	3	3	3
	2	2	2	2	2	3	3	3	3
	3	2	3	3	3	3	3	4	4
2	1	2	3	3	3	3	4	4	4
	2	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	5	5
3	1	3	3	4	4	4	4	5	5
	2	3	4	4	4	4	4	5	5
	3	4	4	4	4	4	5	5	5
4	1	4	4	4	4	4	5	5	5
	2	4	4	4	4	4	5	5	5
	3	4	4	4	5	5	5	6	6
5	1	5	5	5	5	5	6	6	7
	2	5	6	6	6	6	7	7	7
	3	6	6	6	7	7	7	7	8
6	1	7	7	7	7	7	8	8	9
	2	8	8	8	8	8	9	9	9
	3	9	9	9	9	9	9	9	9

Fuente: (Asencio et al., 2012).

3.7 Estudio de tiempos

3.7.1 Definición de estudio de tiempos

El estudio de tiempos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos de trabajo y actividades correspondientes a las operaciones de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas, con el fin de analizar los datos y poder calcular el tiempo requerido para efectuar la tarea (Cruelles Ruiz, 2012).

3.7.2 Alternativas para llevar a cabo un estudio de tiempos

Las principales técnicas utilizadas para medir el trabajo son:

- Estimación a partir de datos históricos.
- **Estudio de tiempos mediante cronómetro.**
- Descomposición en micro movimientos utilizando tiempos predeterminados (MTM, MODAPTS, técnica MOST).
- Método de observaciones instantáneas (muestreo de trabajo).
- Uso de datos estándar y fórmulas de tiempos.

Cualquiera de estas técnicas permitirá determinar el tiempo tipo o estándar para el trabajo evaluado (Luis & Palacios , 2016).

3.7.3 Estudio de tiempos por cronometro

En el estudio de tiempos se utilizan dos tipos de cronómetro; el mecánico y el electrónico. El mecánico puede subdividirse en otros tres tipos: el cronómetro ordinario, el cronómetro con vuelta a cero y, de uso menos frecuente, el cronometro de registro fraccional de segundos u otra unidad de tiempo. El que se utiliza solo y el que se utiliza integrado en un dispositivo electrónico de registro (Kanawaty, 2011).

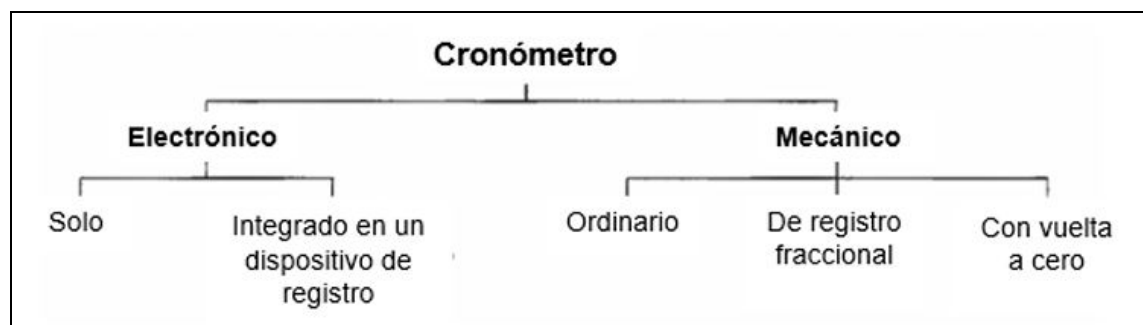


Ilustración 9 Tipos de cronómetros
Fuente: Kanawaty (2009)

3.7.4 Tipos de cronómetros

Modo de vuelta a cero: El reloj muestra el tiempo de cada elemento y automáticamente vuelve a cero para el inicio de cada elemento.

Modo acumulativo (modo continuo): El reloj muestra el tiempo total transcurrido desde el inicio del primer elemento hasta el último (Cañedo Fernández , 2015).

Cronometraje acumulativo o lectura continua:

- El cronometro funciona de modo continuo durante todo el estudio.
- Al final de cada elemento se registra el tiempo que marca el cronometro.
- Los tiempos de cada elemento se obtienen restando la lectura registrada para el elemento, menos la lectura anterior registrada.

Este tipo de lectura en la medición de los tiempos de cada elemento es recomendable porque presenta un registro completo de todo el periodo de observación y, por tanto, resulta del agrado del operario y de sus representantes. El trabajador puede ver que no se ha dejado ningún tiempo fuera del estudio, y que los retrasos y extraños han sido tomados en cuenta (Escalante Lago, 2015).

Cronometraje de regreso a cero o lectura vuelta a cero

- Los tiempos se registran directamente al final de cada elemento.
- Inmediatamente se regresa la aguja a cero y continúa funcionando con el elemento siguiente.

Este tipo de lectura tiene la ventaja principal de que el cronómetro proporciona directamente el tiempo que tardó en ejecutarse el elemento, a diferencia del método de lectura continua, en que es necesario efectuar las restas entre lecturas para saber cuánto tiempo tardó en ejecutarse dicho elemento.

La lectura vuelta a cero presenta varias desventajas. Esto debe entenderse claramente antes de estandarizar una forma de registrar valores. Una de las objeciones al método de regreso a cero que ha percibido considerable atención, particularmente de sindicatos, es el tiempo que se pierde en poner en cero la manecilla, por lo tanto, se introduce a un error acumulativo en el estudio. Además:

1. Es difícil tomar el tiempo de elementos cortos.

2. No siempre se obtiene registro completo de un estudio en que no se hayan tenido en cuenta los retrasos y los elementos extraños.
3. No se puede verificar el tiempo total sumando los tiempos de cada elemento (Escalante Lago, 2015).

3.7.5 Tamaño de muestra

El tamaño de muestra se refiere al número de observaciones o elementos que se seleccionan de una población para realizar un estudio o análisis. Es crucial para garantizar la validez y precisión de los resultados. Para calcular el tamaño de la muestra o el número de observaciones necesarias para cada actividad, se consideran un nivel de confianza y un margen de error establecidos (Kanawaty, 2011).

Ecuación 1 Tamaño de muestra

$$n = \left(\frac{40 \sqrt{n' \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

Fuente: Kanawaty (2011)

Siendo:

n = tamaño de la muestra que deseamos determinar;

n' = número de observaciones del estudio preliminar;

S = suma de los valores;

x = valor de las observaciones.

3.7.6 Definición de tiempo estándar

El tiempo estándar se define como el tiempo necesario para producir un artículo en un proceso de manufactura, bajo las siguientes tres condiciones:

1. Operador calificado y debidamente capacitado.
2. Producción a ritmo normal.
3. Ejecución de una tarea específica.

Estas condiciones son fundamentales para comprender el estudio de tiempos y el análisis correspondiente. Alcanzar estos tiempos puede resultar complicado, ya que se establecen para operadores altamente capacitados.

El tiempo estándar es el tiempo que un operador calificado y entrenado necesita para realizar una operación a una velocidad normal. Es el tiempo meta a alcanzar y el mejor tiempo asignado a una actividad de trabajo (resultae, 2023).

3.7.7 Definición de ritmo normal

Es el tiempo en el que un operador capacitado, bajo condiciones normales, realiza una tarea con un nivel de esfuerzo adecuado, lo que implica que puede mantener un ritmo cómodo: ni demasiado rápido ni demasiado lento. En cada operación se determina un tiempo estándar, a pesar de las variaciones que puedan existir entre los tiempos de los diferentes operadores (Kanawaty, 2011).

3.7.8 Calculo de tiempo estándar

G.Criollo (2005) describe las medidas a seguir para la obtención del tiempo estándar de la siguiente manera:

I. Selección de observaciones:

- a) Si las variaciones se deben a la naturaleza de los movimientos, se conservan todas las lecturas.
- b) Si las variaciones no son producto de los movimientos y las lecturas anteriores o posteriores son consistentes, se atribuirán a la falta de habilidad del operador y esas observaciones pueden ser eliminadas.
- c) Si las variaciones no se deben a los movimientos, pero las lecturas anteriores o posteriores también presentan variaciones, se trata de un error en el cronometraje. En casos de errores mínimos, solo se eliminan las lecturas afectadas; si hay una gran cantidad de errores, se debe repetir el estudio de tiempos.

II. Para cada movimiento, se suman las lecturas consistentes.

III. Se registra el número de lecturas consideradas para cada movimiento.

IV. La suma de las lecturas para cada elemento se divide entre el número de lecturas consideradas, obteniendo así el tiempo promedio (Ecuación 2):

Ecuación 2. Tiempo promedio

$$Te = \frac{\sum Xi}{n}$$

Fuente: G.Criollo (2005)

V. Se multiplica el tiempo promedio (Te) por el factor de valoración, obteniendo así el tiempo elemental (Ecuación 3). La valoración es una técnica que permite determinar de manera equitativa el tiempo necesario para que un operador promedio complete una tarea bajo condiciones normales. Esta valoración se realiza mediante una calificación de la actuación.

Ecuación 3 Tiempo elemental

$$Tn = Te (valoración \text{ en } \%)$$

Fuente: G.Criollo (2005)

VI. Para obtener el tiempo normal, se suma al tiempo base elemental la tolerancia asignada por los suplementos concedidos (Ecuación 4). Estos suplementos representan el tiempo adicional otorgado al trabajador para compensar posibles retrasos en la actividad, asegurando que el tiempo medido se ajuste a las condiciones reales de trabajo.

Ecuación 4 Tiempo normal

$$Tt = Tn (1 + tolerancias)$$

Fuente: G.Criollo (2005)

VII. Se determina la frecuencia de realización por operación o pieza para cada actividad.

VIII. Se multiplica el tiempo base elemental por la frecuencia de la actividad, obteniendo así el tiempo total asignado para cada actividad.

IX. Finalmente, se suman los tiempos asignados para cada movimiento o actividad, obteniendo el tiempo estándar por operación, pieza, o proceso especificado.

3.8 Ayuda Visuales

Las ayudas visuales son herramientas gráficas o materiales diseñados para complementar la comunicación y facilitar la comprensión de información compleja. Su propósito principal es reforzar el mensaje que se desea transmitir al presentar datos, conceptos o instrucciones de manera clara, visual y atractiva.

- **Diagramas y gráficos:** Representaciones visuales de datos numéricos o relaciones conceptuales.
- **Presentaciones:** Diapositivas en programas como PowerPoint o Keynote, utilizadas para exponer ideas en conferencias o reuniones.
- **Tablas:** Estructuras organizadas para mostrar información categorizada.
- **Modelos físicos o digitales:** Réplicas o simulaciones que explican procesos o estructuras.
- **Ilustraciones y fotografías:** Imágenes que facilitan la descripción de objetos, contextos o acciones.
- **Señalética y carteles:** Herramientas para orientar o informar en espacios físicos.

En ergonomía y manufactura, las ayudas visuales son esenciales para comunicar procedimientos, normas de seguridad, o pasos de ensamblaje, contribuyendo a la eficacia, precisión y seguridad en las operaciones (BRADY, 2023).

3.9 Diagrama de flujo

Es una representación gráfica de la secuencia de etapas, operaciones, movimientos, decisiones y otros eventos que ocurren en un proceso. Esta representación se efectúa a través de formas y símbolos gráficos utilizados

usualmente. Los símbolos gráficos para dibujar un diagrama de flujo están más o menos normalizados.

Existen otros símbolos que se pueden utilizar. Lo importante es que su significado se entienda claramente a primera vista. En el ejemplo siguiente, vemos un diagrama de flujo para representar el proceso de fabricación de una resina (Reacción de Polimerización) (Verdoy & Mahigues, 2006).

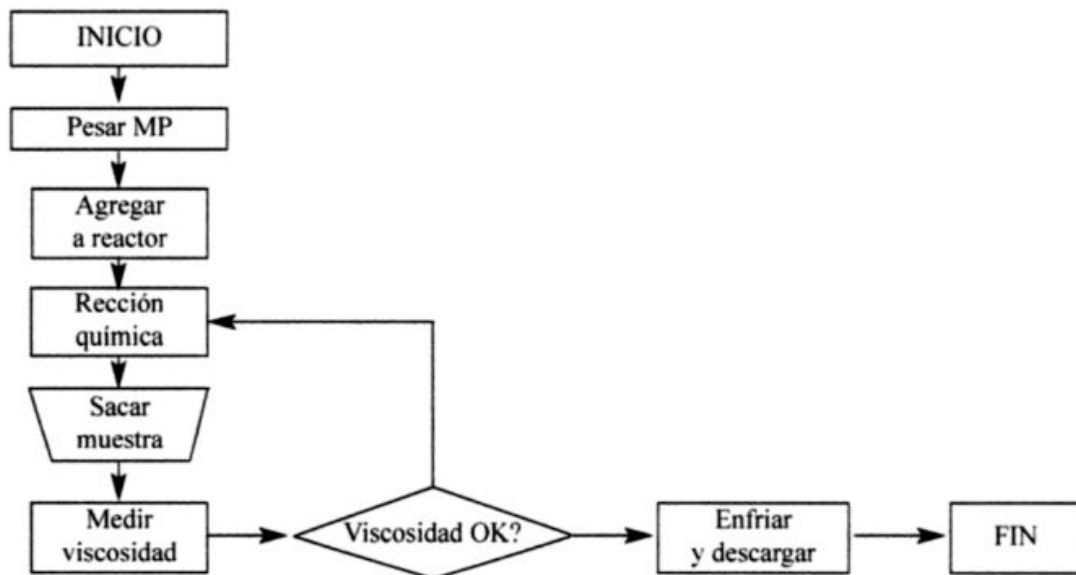


Ilustración 10 Diagrama de flujo
Fuente: Verdoy & Mahigues (2006)

CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

4.1 Enfoque de investigación

Según Creswell y Plano Clark (2006), los métodos mixtos constituyen una estrategia de investigación en la que el investigador recopila, analiza y combina (integra o relaciona) datos cualitativos y cuantitativos dentro de un mismo estudio o en un proceso de indagación en varias fases. Tashakkori y Teddlie (2009 y 2003) afirman que los métodos mixtos representan un tipo de diseño de investigación que integra enfoques cuantitativos y cualitativos en la formulación de preguntas, métodos de investigación, recolección de datos, procedimientos de análisis e interpretación de resultados (Hernández, 2006).

El enfoque con el que se realizó la presente investigación es de tipo mixto;

- **Cuantitativo:** Se miden los tiempos de operación y se realizan pruebas para reducir la colocación de cables a menos de 3 minutos. Además, se comparan los tiempos de colocación entre el herramental actual y el nuevo diseño utilizando análisis estadísticos.
- **Cualitativo,** Se busca comprender a fondo las condiciones ergonómicas que enfrentan los operadores al manipular el herramental actual para la colocación de cables en los PCB. A través de la observación directa y encuesta con los trabajadores, se pretende analizar sus experiencias, percepciones y dificultades al utilizar el equipo, con el objetivo de identificar mejoras que puedan ser implementadas en el diseño del nuevo herramental. Este análisis permitirá obtener una comprensión detallada de los factores humanos que impactan en la eficiencia y seguridad del proceso.

4.2 Tipo de investigación

4.2.1 Investigación Aplicada

Según Humberto Ñaupas Paitán (2013), la investigación se clasifica como aplicada porque se fundamenta en la investigación básica o pura en las ciencias fácticas o formales, permitiendo así la formulación de problemas o hipótesis que buscan resolver desafíos en la vida productiva de la sociedad.

La investigación aplicada se fundamenta en la implementación de avances y productos tecnológicos, considerando aspectos como: 1) la evaluación, 2) la comparación, 3) la interpretación, 4) el establecimiento de precedentes y 5) la determinación de causalidad y sus implicaciones. Lester y Lester (2012, citado en Hernández S., et al., 2014).

Tipo de Investigación: Este proyecto se clasifica como una investigación aplicada, ya que busca resolver un problema específico relacionado con la eficiencia y ergonomía en el proceso de colocación de cables en PCB. A través del diseño y evaluación de un nuevo herramental, se pretende mejorar tanto los tiempos de operación como la salud y seguridad de los operadores. Además, la investigación se enfoca en el análisis práctico de resultados medibles, lo que la hace relevante para el entorno industrial y la mejora continua de procesos.

4.2.2 Investigación diseño

La investigación de diseño se refiere al desarrollo de un equipo, programa o sistema, y su validación mediante la aplicación del diseño propuesto. Es un enfoque comúnmente utilizado por ingenieros, quienes emplean su creatividad e ingenio para crear sistemas, máquinas, mecanismos o dispositivos. Un ejemplo sería: "Diseñar una máquina para optimizar el proceso de manufactura en una fábrica, implementar el diseño y evaluar sus resultados" (Schmelkes & Elizondo S., 2010).

La investigación de diseño es apropiada en este proyecto, ya que implica la creación y evaluación de un nuevo herramental para mejorar el proceso de

colocación de cables en los PCBs. Este tipo de investigación busca resolver problemas prácticos mediante el desarrollo de soluciones innovadoras, probando su eficacia en condiciones reales y optimizando su funcionalidad.

4.3 Instrumentos y técnicas de recolección de datos

Se recopiló la información relevante a través de la investigación de los temas necesarios para el desarrollo de este proyecto. A continuación, se detallan las técnicas y herramientas empleadas:

4.3.1 Observación

Es una técnica que implica observar un fenómeno, hecho o evento, recopilar información y registrarla para su análisis posterior. La observación es un componente fundamental en cualquier proceso de investigación, permitiendo al investigador obtener la mayor cantidad de datos posible. Este método de recolección de datos se basa en el registro sistemático, preciso y confiable de comportamientos y situaciones observables, utilizando un conjunto de categorías y subcategorías (Hernández S., et al. 2010).

Sierra y Bravo (1984) la describen como: "la observación y análisis que realiza el investigador, utilizando sus propios sentidos, con o sin asistencia de instrumentos técnicos, sobre hechos o situaciones de interés social, tal como ocurren de manera natural.

Ander-Egg (1996) define la observación como una técnica para recopilar datos y captar la realidad sociocultural de una comunidad o grupo social específico.

Se llevó a cabo una observación directa en el lugar de trabajo para identificar y analizar los procedimientos actuales de colocación de cables en los PCB. Durante esta fase, se registraron aspectos clave como los tiempos de operación, la postura de los operadores, y la interacción con el herramental existente. Esta técnica permitió identificar inefficiencias en el proceso y evaluar las condiciones ergonómicas, así como los niveles de satisfacción de los

operadores. La observación se centró en los movimientos realizados, los tiempos de colocación y cualquier signo de malestar físico, lo que proporcionó información valiosa para el diseño del nuevo herramental.

4.3.2 Cuestionario

Un conjunto de preguntas diseñadas para medir una o varias variables específicas (Chasteauneuf, 2009, citado en Hernández S., et al., 2014). En la investigación cuantitativa, estas preguntas se organizan en cuestionarios cerrados, registros estadísticos, pruebas estandarizadas y sistemas de medición precisa. En estudios cualitativos, los instrumentos incluyen entrevistas profundas, cuestionarios abiertos, sesiones de grupo, biografías, revisión de archivos y observación, entre otros (Hernández S., et al., 2014).

Para evaluar la efectividad del nuevo herramental, se implementó una encuesta dirigida a los operadores. Esta encuesta incluyó preguntas sobre la facilidad de uso del herramental, su comodidad y la percepción sobre la reducción de tiempos de colocación de cables. Los datos recolectados se analizaron para identificar mejoras en comparación con el herramental anterior, y se utilizarán para hacer recomendaciones sobre futuras modificaciones en el diseño.

4.3.3 Chekslist

La Dra. Diana Susana Bichachi (2004) entiende por lista de chequeo (*chekslist*) a un listado de preguntas, en forma de cuestionario que sirve para verificar el grado de cumplimiento de determinadas reglas establecidas a priori con un fin determinado. El uso de estas listas está generalizado en rubros muy diversos que van desde verificar y determinar el potencial de mercados extranjeros hasta medir la confiabilidad y seguridad de sistemas informáticos, incluyendo ítems tales como la evaluación de criterios de usabilidad de un sitio de Internet, como así también la verificación de un plan de vuelo en aeronáutica, siendo estos solo algunos usos para ejemplificar el amplio espectro.

Hoja de verificación (*Checklist*): Es un formato construido para coleccionar datos, de forma que su registro sea sencillo y sistemático, y se puedan analizar visualmente los resultados obtenidos (Gutiérrez Pulido & Salazar, 2009).

La ventaja de los *checklist* es que, además de sistematizar todas las actividades que se deben realizar, una vez que se han rellenado sirven de registro, y puede ser revisado de manera posterior para tener constancia de las diferentes actividades que se realizan en un momento dado.

En este proyecto, el *checklist* se aplicó para evaluar las posturas y movimientos de los operadores al usar el herramienta, con el objetivo de identificar posibles riesgos ergonómicos. Su uso facilita la recolección y análisis de información, proporcionando un registro claro y organizado que puede ser revisado posteriormente para tomar decisiones sobre posibles mejoras en el diseño.

4.4 Población y muestra

Según Cuesta (2009), el muestreo no probabilístico es una técnica donde las muestras se recogen sin que todos los individuos de la población tengan iguales oportunidades de ser seleccionados. A diferencia del muestreo probabilístico, la muestra no probabilística no resulta de un proceso de selección aleatoria; los sujetos suelen ser elegidos por su accesibilidad o según el criterio intencional del investigador.

Por su parte, Westreicher (2022) define el muestreo por conveniencia como una modalidad en la que el investigador selecciona a los sujetos más accesibles, ya sea por proximidad geográfica u otras razones.

En el estudio de tiempos del proyecto, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia debido al tamaño reducido de muestra manejado por la empresa. Dado que el número de operadores disponibles era limitado, se seleccionó el más accesibles para recopilar datos rápidamente.

Aunque este enfoque no garantiza representatividad total, permitió obtener información clave para evaluar y mejorar el proceso de colocación de cables.

4.5 Método

4.4.1 Objetivo 1. Análisis del proceso actual

Se llevó a cabo una observación exhaustiva del proceso actual de colocación de cables en las PCBs, registrando de manera detallada las etapas y herramientas utilizadas. El análisis reveló las siguientes actividades principales:

Preparación del herramental y colocación de PCBs

El operador colocaba el herramental sobre la mesa de trabajo, asegurando tres PCBs en la herramienta de forma manual.

Colocación de cables en la PCB

Los cables eran posicionados manualmente por los operadores. Utilizaban una mano para sujetar el cable y la otra para estabilizarlo, asegurándolo con un resorte en la herramienta. Este proceso se repetía cinco veces para completar la colocación de los cables.

Aplicación de la placa metálica con imanes

Una placa metálica con imanes era colocada sobre el herramental para mantener los cables firmemente en su lugar. Si un cable estaba mal alineado, los operadores utilizaban pinzas para ajustarlo manualmente, ejerciendo presión adicional que podía dañar los cables o el herramental.

Retiro de la placa metálica tras la soldadura

Luego de que el robot soldaba los cables, los operadores retiraban la placa metálica con imanes. Este paso requería un esfuerzo significativo, ya que los operadores debían usar sus dedos en forma de pinza o herramientas adicionales, lo que podía provocar desgaste en el herramental y molestias físicas.

Encuestas a los Operadores

Para complementar el análisis del proceso, se realizó una encuesta a los operadores con el objetivo de evaluar su percepción del herramental actual, identificar posibles riesgos ergonómicos y obtener retroalimentación sobre las dificultades que enfrentan.

Análisis Ergonómico y Riesgos Identificados

El análisis ergonómico permitió identificar los siguientes riesgos principales:

Riesgos físicos

Los esfuerzos prolongados para colocar los cables y manipular la placa metálica incrementaban la posibilidad de lesiones por presión y desgaste en los dedos y muñecas.

Riesgos ergonómicos

Las posiciones adoptadas para realizar estas tareas causaban desviaciones en las muñecas y sobrecarga muscular. Utilizando la metodología RULA, se observó que las posturas tenían un riesgo significativo, con factores críticos como la extensión de muñecas mayor a 15° y la desviación cubital extrema.

Este análisis detallado fue fundamental para comprender las áreas de mejora necesarias en el diseño del herramental y su impacto en los operadores.

4.4.2 Objetivo 2. Diseño del nuevo herramental

Desarrollo de CAD

Para el desarrollo del nuevo herramental en el proyecto, primero nos enfocamos en un boceto hecho a mano, que sirvió como base para el diseño inicial. Este boceto permitió evaluar aspectos clave como la forma, el tamaño y la distribución del peso del herramental, buscando mejorar la ergonomía y reducir la fatiga en los operadores. Posteriormente, se utilizó el diseño asistido por computadora (CAD) para modelar, simular y visualizar en tres dimensiones la estructura final del prototipo, asegurando una optimización en su uso y funcionalidad.

En particular, el software CAD empleado facilitó la creación de bocetos en 3D, en los cuales se simulaban escenarios de uso para verificar que el diseño cumpliera con los requisitos ergonómicos y funcionales. Esto incluyó el análisis de los ángulos de sujeción, el ajuste en las manos y la accesibilidad de los operadores al manipular el herramental. Además, la simulación en CAD permitió identificar posibles puntos débiles en la estructura, lo que hizo posible realizar ajustes tempranos en el modelo para garantizar la durabilidad del diseño final.

Solid Edge

Para el diseño del nuevo herramental, Solid Edge fue clave debido a su amplio conjunto de herramientas CAD, que permitió desarrollar modelos detallados y realizar bocetos precisos. A lo largo del proceso de diseño, se utilizaron herramientas básicas como la creación de líneas, círculos y arcos para definir la geometría inicial del diseño. Estas formas base fueron fundamentales para estructurar los elementos iniciales del prototipo y crear un boceto que posteriormente se trabajó en 3D.

Una vez concluido el diseño inicial del primer prototipo, este fue presentado al jefe de los ingenieros de la empresa. Durante la revisión, se destacó la propuesta de incorporar agujeros cónicos con tapas, una solución

que aseguraría la correcta colocación de los cables sin dañarlos. Esta opción fue bien recibida y aprobada, marcando el camino hacia el desarrollo del diseño final.

Solid Edge facilitó la realización de ajustes rápidos y precisos en el modelo, optimizando así el diseño en función de la ergonomía y funcionalidad requeridas. Las herramientas de ensamblaje del software permitieron verificar cómo encajaban las piezas entre sí, asegurando que el prototipo final cumpliera con los requisitos de alineación y ensamblaje para su implementación eficiente en el proceso de producción.

Al finalizar el prototipo, se generaron planos detallados en Solid Edge para documentar formalmente el diseño. Estos planos mostraron cada componente y sus medidas exactas, esenciales para la fabricación final. Además, sirvieron como referencia para la producción y validación del diseño, proporcionando una representación precisa de los aspectos técnicos y funcionales del prototipo.

4.4.3 Objetivo 3. Prototipo y pruebas

Para la implementación del nuevo herramental mediante impresión 3D, se llevaron a cabo diversos ajustes en los parámetros de impresión para asegurar que cada pieza fuera funcional, duradera y cómoda para los operadores. La tecnología de impresión 3D permitió un control detallado sobre las configuraciones del modelo, como el grosor de las paredes, la densidad del relleno, la altura de capa y la velocidad de impresión, todos factores cruciales para asegurar un equilibrio entre la resistencia y el tiempo de producción del prototipo.

Se utilizó el material PLA (ácido poliláctico) como elección principal debido a sus propiedades específicas que lo hicieron ideal para el prototipado. El PLA es un material biodegradable derivado de recursos naturales, como el maíz, lo que lo convirtió en una opción sostenible y segura para el medio ambiente. Además, su bajo punto de fusión y estabilidad térmica permitieron que se imprimiera con precisión y con un acabado de alta calidad. Esto facilitó

el proceso de iteración rápida, permitiendo ajustes en el diseño del herramental para mejorar aspectos ergonómicos sin comprometer la calidad o rigidez del material.

En términos de configuración específica para el PLA, se empleó una temperatura de extrusión promedio de 200-222 °C y una temperatura de cama de entre 50-60 °C. Estas configuraciones ayudaron a lograr una buena adherencia de las capas, evitando problemas de deformación y asegurando un ensamblaje limpio. La densidad de relleno se ajustó al 12%, en un patrón de malla que ofreció una combinación ideal de rigidez y ligereza, permitiendo que el herramental fuera lo suficientemente robusto como para resistir la presión aplicada en el proceso de colocación de cables, pero lo suficientemente ligero para mejorar la comodidad durante el uso prolongado.

La elección del grosor de pared y del relleno también se realizó en función del uso intensivo del herramental, buscando que el prototipo no solo soportara el desgaste diario, sino que permitiera realizar modificaciones futuras sin dificultad. Esta flexibilidad fue posible gracias a la impresión 3D, que permitió hacer iteraciones sucesivas, probar directamente con los operadores y ajustar características como la geometría de los mangos, el ángulo de sujeción y la incorporación de apoyos adicionales para reducir la fatiga en las manos.

El uso de PLA facilitó, además, una relación costo-beneficio favorable, ya que es un material accesible en el mercado y de fácil adquisición. Gracias a estas características, se logró una solución eficiente y adaptable que respondió a las necesidades específicas del proceso de manufactura, elevando la eficiencia y la ergonomía de las herramientas usadas en el montaje de PCB.

Para configurar la impresión de cada prototipo, se seleccionó cuidadosamente el diámetro de la tobera (o puntilla), ya que este factor influyó tanto en el tiempo de impresión como en el nivel de detalle del prototipo. En los primeros tres prototipos, se utilizó una puntilla de 0.8 mm, mientras que para los dos últimos diseños se eligió una de 1.0 mm con el objetivo de optimizar los tiempos de impresión.

Configuración de *Creality Slicer*

Creality Slicer fue un software de corte específico para impresoras 3D de *Creality* que facilitó la preparación de modelos 3D para su impresión a través de tecnología de deposición fundida. Entre sus funciones, permitió ajustar parámetros críticos de impresión, como la altura de capa, velocidad, densidad de relleno y temperatura de extrusión, lo que influyó directamente en la calidad y precisión del modelo impreso. Estas configuraciones fueron esenciales, ya que un ajuste incorrecto pudo haber llevado a impresiones fallidas, inconsistencias en las capas o estructuras inestables en el modelo final.

Creality Slicer también permitió optimizar las trayectorias de impresión y analizar los soportes necesarios para geometrías complejas, asegurando que se lograra el nivel deseado de detalle y resistencia. El software proporcionó herramientas para controlar remotamente la impresora y monitorear el progreso en tiempo real, lo que facilitó los ajustes sobre la marcha si era necesario. Se imprime directamente desde la computadora, eliminando la necesidad de dispositivos intermedios y permitiendo mayor precisión en los ajustes personalizados de cada proyecto.

Este software permitió transformar los diseños en un conjunto de instrucciones comprensibles para la impresora, asegurando que el prototipo impreso reflejara con exactitud el diseño CAD original. Además, las configuraciones ajustables dentro de *Creality Slicer* fueron determinantes en el éxito de la impresión, proporcionando flexibilidad y control sobre el proceso de producción.

4.4.4. Objetivo 4. Implementación Piloto

Preparación de la línea de producción

Después de la aprobación del diseño del prototipo, se preparó la línea de producción mediante la fabricación de dos herramentales con tapas, asegurando su óptimo estado para su implementación. Además, se validaron con los ingenieros clave de la planta para confirmar el cumplimiento de los estándares técnicos, de calidad, ergonomía y eficiencia, asegurando su viabilidad en las operaciones diarias y su aprobación para el entorno de producción real.

Ayuda Visual

Se implementó una ayuda visual en el prototipo mediante la aplicación de colores diferenciados en los tubos cónicos. Cada color correspondía a un cable específico, lo que facilitó que los operadores identificaran rápidamente el lugar correcto para cada cable y los colocaran uno por uno con mayor precisión y facilidad.

Entrenamiento de los operadores

Como parte de la implementación del nuevo herramental, se realizó un entrenamiento específico para el operador encargado de la línea de producción destinada a las pruebas piloto. Este operador recibió instrucción detallada sobre el uso del nuevo diseño, incluyendo aspectos clave como la manipulación adecuada, medidas de seguridad, ventajas ergonómicas y el procedimiento estandarizado para la colocación de cables y PCBs. Además, se practicaron las operaciones bajo supervisión para garantizar el dominio del herramental antes de extender el conocimiento al resto del equipo.

Este entrenamiento fue fundamental para asegurar una transición fluida hacia el uso del nuevo diseño, maximizando tanto la productividad como la ergonomía en la línea de producción.

Implementación de *Checklist* de la metodología RULA

Para garantizar que el nuevo herramental promoviera mejoras ergonómicas, se desarrolló e implementó un *checklist* basado en la metodología RULA, adaptado para centrarse en las muñecas y manos de los operadores. Este *checklist* fue clave para evaluar los riesgos físicos asociados al diseño actual y validar las mejoras implementadas en el nuevo prototipo.

Herramental actual

Observaciones iniciales: Mediante observación directa y encuestas a los operadores, se identificaron posturas forzadas, como flexión de muñecas mayores a 15°, desviaciones cubitales extremas y posiciones incómodas derivadas de la manipulación del herramental actual.

Factores de riesgo: Los operadores reportaron molestias frecuentes en muñecas y manos, principalmente debido al esfuerzo necesario para sujetar y manipular los imanes y las placas, así como el uso de pinzas de metal para despegar el herramental, que además dañaban el equipo.

***Checklist* de la implementación del nuevo herramental:**

Evaluación con el *checklist*: Durante el uso del nuevo diseño, se observó una notable reducción de las posturas forzadas. Las modificaciones, como los mangos ergonómicos y las tapas ajustables, facilitaron una postura más neutral de las muñecas.

Percepción de los operadores: Al comparar su experiencia con el herramental anterior, los operadores destacaron una mayor comodidad, menor esfuerzo físico y reducción de molestias en las muñecas. También señalaron que la manipulación de las tapas y los imanes era más intuitiva y menos agresiva para las manos.

La implementación del nuevo herramental mostró una disminución en los riesgos ergonómicos asociados a las tareas de colocación de cables. El

checklist validó que las mejoras en el diseño tuvieron un impacto positivo en la postura de los operadores y en su experiencia general.

Esta comparación entre el antes y el después permitió confirmar que el nuevo diseño no solo es funcional, sino que también mejora significativamente la ergonomía en la línea de producción, contribuyendo al bienestar de los operadores y reduciendo el riesgo de lesiones.

Estudio de tiempo

La implementación del estudio de tiempos en este proyecto se llevó a cabo utilizando un cronómetro para registrar las actividades involucradas en el proceso de producción. Dado que la empresa ya contaba con un formato establecido para la medición de tiempos y actividades, este documento fue utilizado como base para registrar los datos obtenidos durante el estudio.

Para visualizar de manera más clara el flujo de trabajo y la secuencia de actividades en el proceso de colocación de cables, se elaboró un **diagrama de flujo**. Este permitió identificar posibles cuellos de botella, redundancias en las tareas y puntos clave donde la nueva herramienta optimizaba el procedimiento

El enfoque consistió en comparar los tiempos observados durante el estudio con el tiempo estándar establecido por la empresa. La diferencia entre ambos permitió identificar oportunidades de mejora en el proceso y determinar si las nuevas herramientas y métodos implementados eran más eficientes.

- Selección de Actividades: Se identificaron las tareas específicas a estudiar, centrándose en aquellas relacionadas con la colocación de cables, ya que eran el enfoque principal del proyecto.
- Configuración del Cronómetro: Se utilizó un cronómetro electrónico para realizar las mediciones de regreso a cero, lo que permitió registrar los tiempos de manera precisa y minimizar errores humanos.
- Realización de Observaciones: Se llevaron a cabo múltiples observaciones de cada actividad para obtener un conjunto de datos

representativo. Este enfoque aseguró que se capturara la variabilidad natural del proceso.

- **Análisis de Resultados:** Una vez recopilados los datos, se analizaron comparando los tiempos observados con el tiempo estándar existente.
- **Ajuste del Tiempo Estándar:** Cuando los tiempos observados resultaron significativamente menores o mayores que el estándar actual, se consideraron ajustes en el tiempo estándar. Esto incluyó la evaluación de la capacitación de los operadores y la eficacia de las nuevas herramientas y métodos introducidos en el proyecto.
- **Documentación:** Todo el proceso fue documentado, incluyendo los métodos de medición, los resultados obtenidos y las conclusiones sobre la efectividad del nuevo diseño y la implementación de mejoras.

Al seguir estos pasos, y utilizando el formato oficial de la empresa, se logró validar el tiempo estándar existente y contribuir a una mejora continua en los procesos de producción de la empresa como se muestra en la ilustración 11.

 Time study sheet			OPERATION: Plásticos		DATE: 15/11/2024												
			PROGRAM: Emsamble de 5 cables		TIME START: 09:00 a. m.												
			PART#: 16026163A		TIME END: 11:30 a. m.												
					TIME STUDY MADE BY:												
No.	Cantidad de piezas	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3	Preparación del herramental															
2	3	Colocacion de PCBs															
3	1	Colocar los cables															
4	1	Colocacion de iman															
5	1	Ajuste del cableado															
6	1	Colocar los cables															
7	1	Colocacion de iman															
8	1	Ajuste del cableado															
9	1	Colocar los cables															
10	1	Colocacion de iman															
11	1	Ajuste del cableado															
12	3	Insercion en maquina de soldadura															
Tolerancia																	
Tiempo para un ciclo																	
Tiempo estándar																	
Sumatoria de tiempo estándar																	

Ilustración 11 Formato de estudio de tiempo
Fuente: Propia

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.1 Objetivo 1. Análisis del proceso actual

Proceso Actual de colocación de cables:

- Preparación del herramental y colocación de PCBs: El herramental se coloca sobre la mesa de trabajo, y se fijan tres PCBs en la herramienta.
- Colocación de cables en la PCB: El operador sostiene un cable con una mano y lo posiciona en la PCB, utilizando la otra mano para estabilizarlo. Los cables son asegurados con un resorte, y este proceso se repite hasta completar los cinco cables, en la ilustración 12 se muestra la colocación de cables en la pcb.



Ilustración 12 Colocación de cables en la pcb

Fuente: Propia

- Aplicación de la placa metálica con imanes: Se coloca una placa de metal con imanes sobre el herramental para sostener firmemente los cables. Si un cable está mal posicionado, el operador lo ajusta con pinzas, ejerciendo presión sobre el cable para asegurar su correcta

colocación en la ilustración 13 se muestra la aplicación de la placa metálica con imanes.

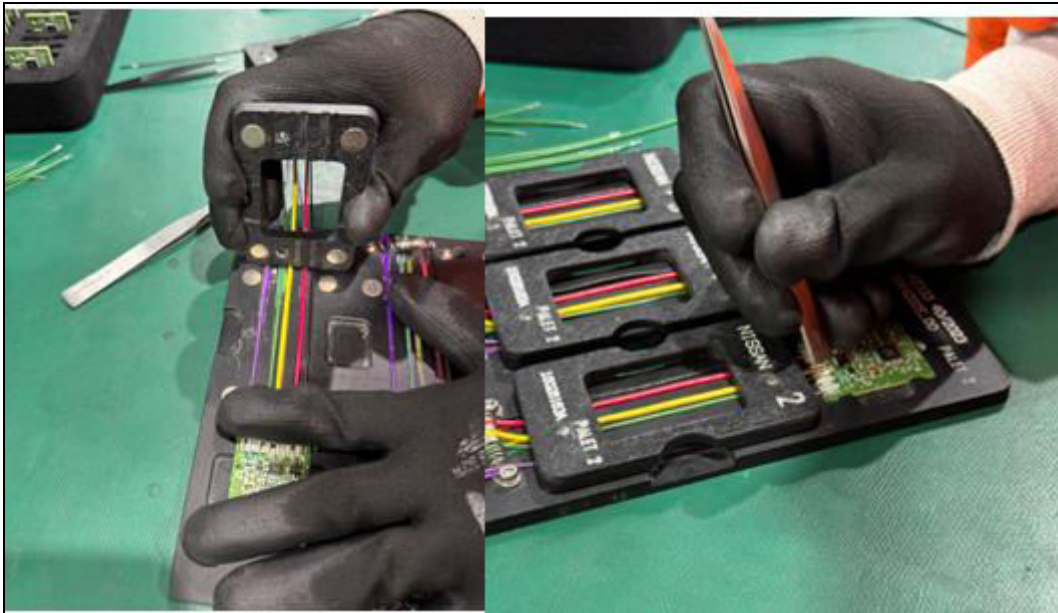


Ilustración 13 Aplicación de la placa metálica con imanes
Fuente: Propia

- Retiro de la placa metálica tras la soldadura: Para retirar la placa con imanes después de que el robot ha soldado los cables, el operador necesita hacer un esfuerzo considerable, usando sus dedos en forma de pinza, lo que en ocasiones lleva al uso de herramientas adicionales y potencialmente daña el herramental como se muestra la ilustración 14.



Ilustración 14 Retiro de la placa metálica tras la soldadura
Fuente: Propia

Encuesta a los operadores.

Como se muestra en la ilustración 15 se encuestaron el 1 turno y el 2 turno en total fueron 10 personas, estos resultados permitirán entender los puntos específicos donde el herramental actual impacta el rendimiento y bienestar de los operadores y no se hizo un análisis muestra sino poblacional por la cantidad de operadores.



Ilustración 15 Encuesta a los operadores
Fuente: Propia

Los resultados obtenidos proporcionan una visión clara sobre el nivel de comodidad, esfuerzo y tiempo requerido al utilizar el herramental. A continuación, se resumen los hallazgos:

Comodidad del herramental: El 50% de los operadores considera que el herramental es incómodo, el 20% lo describe como muy incómodo, el 20% lo percibe como cómodo, y el 10% permanece neutral, como se muestra la ilustración 16.

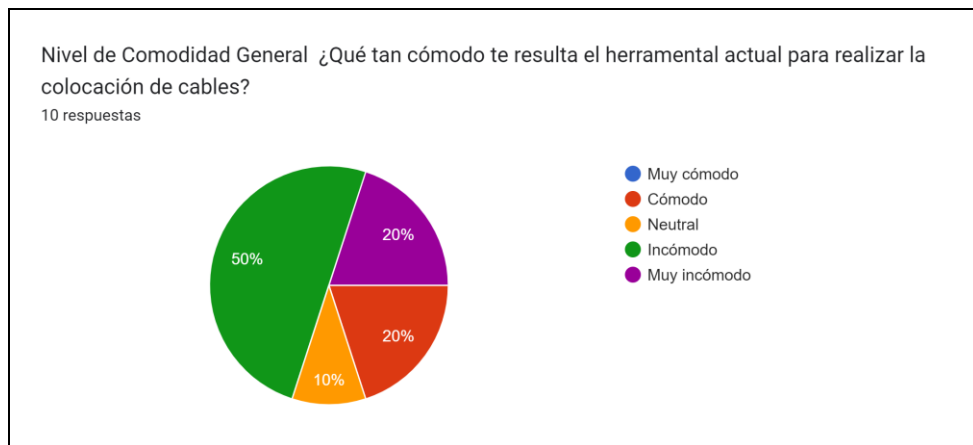


Ilustración 16 Grafica de Comodidad del herramental
Fuente: Propia

Frecuencia de molestias en las muñecas: Como se observa en la ilustración 57 que el 40% experimenta molestias raramente, el 30% a veces, el 20% frecuentemente y el 10% siempre como se muestra en la ilustración 17.

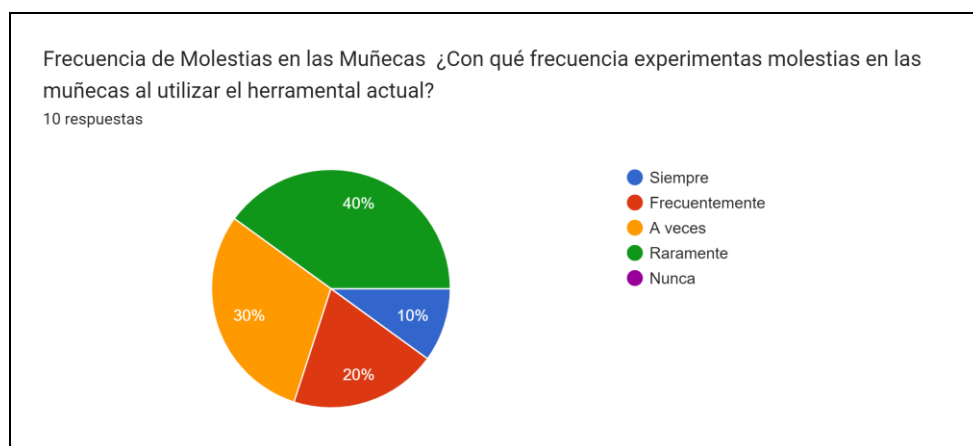


Ilustración 17 Grafico de Frecuencia de molestias en las muñecas
Fuente: Propia

Esfuerzo necesario para manipular el herramental: Como se observa la ilustración el 40% cree que el esfuerzo es bajo, el 30% moderado, el 20% muy bajo y el 10% alto, como se muestra en la ilustración 18.

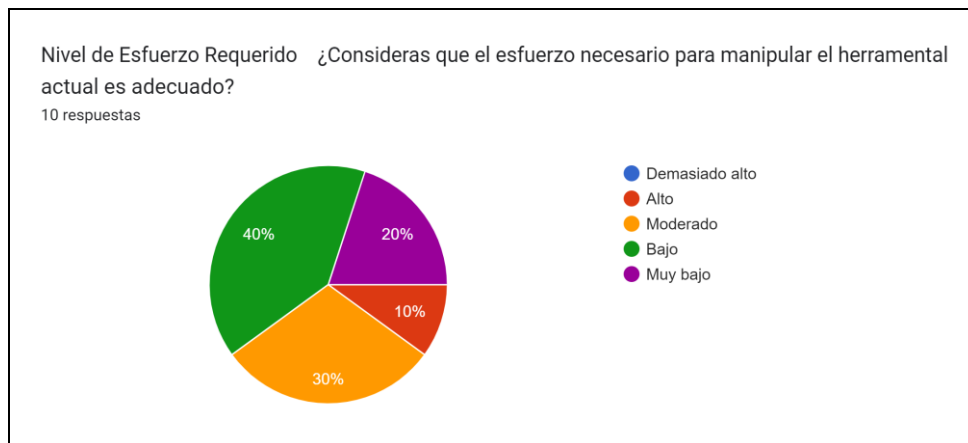


Ilustración 18 Grafico de Esfuerzo Necesario para manipular el herramental
Fuente: Propia

Facilidad de colocación de cables: El 40% considera la tarea moderada, el 30% difícil, el 20% muy difícil y el 10% fácil como se muestra en la ilustración 19.

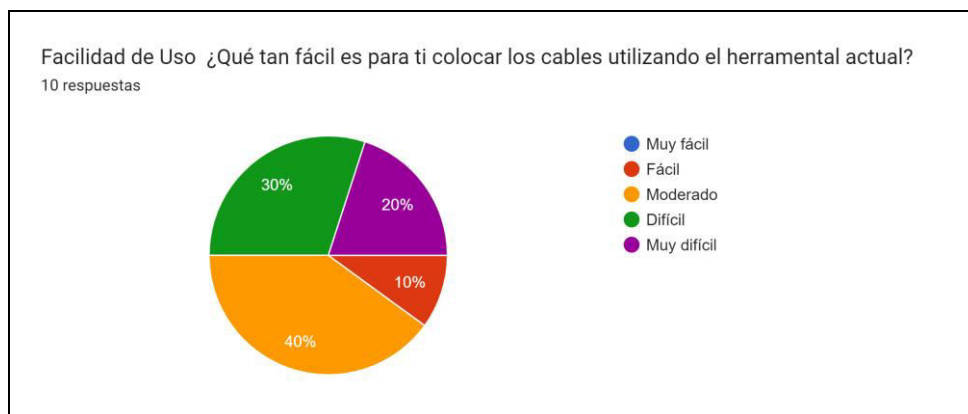


Ilustración 19 Grafico de Facilidad de colocación de cables
Fuente: Propia

Impacto en productividad: Para el 50%, el herramental incrementa ligeramente su productividad, el 10% no percibe impacto, el 10% considera que reduce ligeramente su productividad, el 10% que la reduce mucho y el 20% que la incrementa significativamente como se muestra en la ilustración 20.

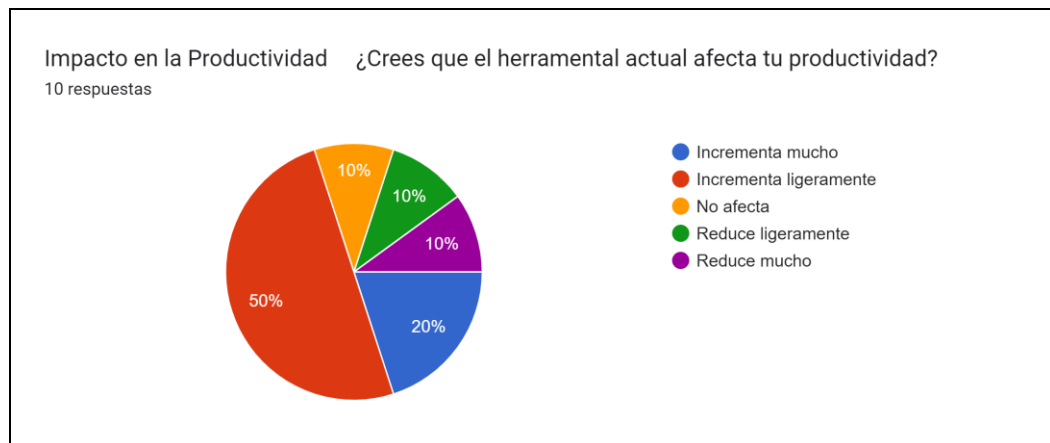


Ilustración 20 Grafico de Impacto de productividad
Fuente: Propia

Tiempo requerido para la colocación de cables: Como se muestra en la ilustración 61 El 70% considera que el herramental toma mucho tiempo y el 30% que toma algo de tiempo como se muestra en la ilustración 21.

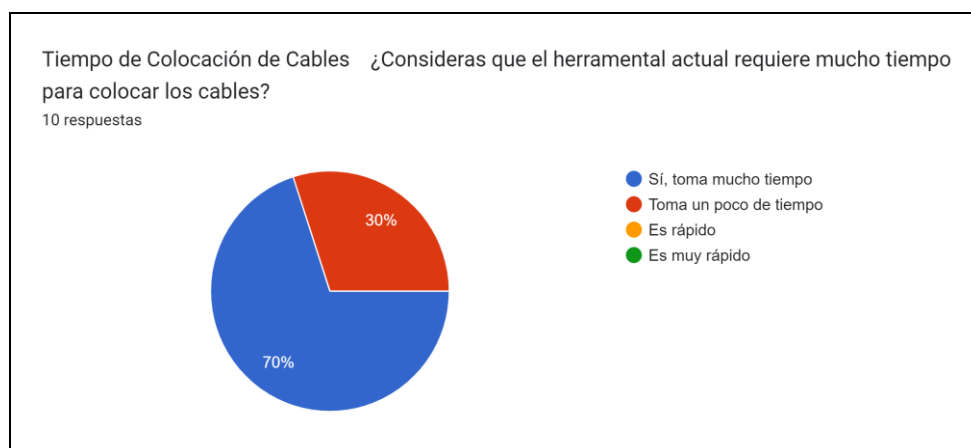


Ilustración 21 Grafica de colocación de cables
Fuente: Propia

Se creó una tabla para justificar la necesidad de un nuevo herramental basado en los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a los operadores. La encuesta permitió identificar las áreas específicas donde el herramental actual afecta negativamente tanto el rendimiento como el bienestar de los operadores. Al evaluar aspectos como la comodidad, la frecuencia de molestias en las muñecas, el esfuerzo necesario para manipular el herramental, la facilidad de colocación de cables, el impacto en la productividad y el tiempo requerido para la colocación de cables, se encontraron diversos puntos que requerían mejora como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8 Necesidad de un nuevo herramental

Pregunta 1	El 50% considera que los operadores consideran que es incómodo.	Requiere una mejora
Pregunta 2	El 40% experimenta molestias raramente	Requiere una mejora
Pregunta 3	El 40% cree que el esfuerzo es bajo	No requiere una mejora
Pregunta 4	El 40% considera la tarea moderada	Requiere una mejora
Pregunta 5	El 50%, el herramental incrementa ligeramente su productividad	Requiere una mejora
Pregunta 6	El 70% considera que el herramental toma mucho tiempo	Requiere una mejora

Fuente: Propia

Análisis Ergonómico y Riesgos Identificados:

- Riesgo físico: Los operadores deben realizar esfuerzos al manipular los cables y colocar la placa con imanes, con riesgo de lesiones por presión o daño en los dedos, como se muestra en la ilustración 22.



Ilustración 22 Riesgo físico
Fuente: Propia

- **Riesgo ergonómico:** Hay una alta exigencia para las muñecas y dedos de los operadores, debido a las posiciones incómodas que adoptan al colocar y ajustar los cables, y a la fuerza necesaria para retirar la placa metálica. En este punto, se desarrolla un *checklist* basado a la metodología RULA para evaluar la postura y el riesgo asociado en las muñecas, considerando los factores de giro y carga, como se muestra en la ilustración 23.



Ilustración 23 Riesgo ergonómico
Fuente: Propia

5.2 Objetivo 2. Diseño del nuevo herramental

Diseño

La necesidad de mejorar el herramental actual surgió de la observación de los desafíos que enfrentaban los operadores al manipular los cables en el proceso de ensamblaje de la PCB. Se detectó que la herramienta actual requería una mejora significativa en cuanto a ergonomía y facilidad de uso, ya que la manipulación constante y precisa de los cables generaba fatiga en los operadores y ralentizaba la producción.

Con esto en mente, se plantearon tres ideas preliminares en papel para un nuevo diseño de herramental:

- **Primer diseño (uso de pinzas):** La primera propuesta se basaba en el uso de pinzas para sujetar los cables de forma estable y sencilla,

permitiendo un mejor control durante su colocación. La intención era reducir el esfuerzo manual del operador en la manipulación de los cables, sin embargo, el diseño presentaba una dificultad en cuanto al control de cada cable al acercarlo a la PCB, ya que el ajuste preciso dependía aún de la destreza del operador.

- **Segundo diseño (estructura cerrada con orificios):** En esta segunda opción, se exploró un diseño cerrado que incluía una serie de orificios, a través de los cuales los cables se introducirían de manera controlada hacia la PCB. Esta estructura buscaba guiar los cables de forma más precisa, evitando que se moviera durante la colocación. Sin embargo, el proceso de inserción se percibía como algo lento y requería ajustes frecuentes para lograr una alineación exacta en cada orificio, lo cual limitaba la eficiencia del proceso.
- **Tercer diseño (estructura cónica con orificio cónico):** La tercera propuesta y finalmente la elegida, consistía en un tubo de estructura cónica. En este diseño, el orificio comenzaba más ancho y se iba estrechando a medida que los cables avanzaban hacia la PCB. Esto facilitaba el proceso de inserción, ya que apertura más amplia permitía una colocación inicial rápida, y el estrechamiento gradual aseguraba que los cables se mantuvieran alineados y sin movimiento al llegar a la PCB. Este diseño resolvía las limitaciones de los modelos previos al ofrecer una colocación guiada que minimizaba el esfuerzo del operador y mejoraba la precisión, como se muestra la ilustración 23.

En la ilustración 23 se muestra lo antes mencionado.

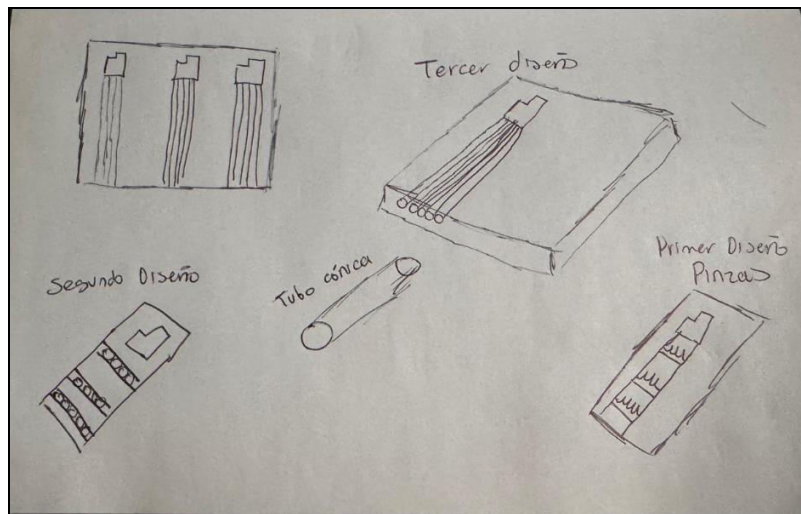


Ilustración 24 Bocetos preliminares
Fuente: Propia

Finalmente, se eligió el tercer diseño debido a su eficacia comprobada para reducir la carga en el operador y mejorar la alineación de los cables en el proceso de montaje, cumpliendo con los objetivos de ergonomía y eficiencia del herramental.

Para presentar la idea del nuevo herramental, el diseño inicial del boceto y la idea se llevó al encargado de todas las áreas de ingeniería, quien destacó el diseño de "tapas" como el más adecuado.

Como se muestra la ilustración 25 se presentó el boceto del nuevo herramental de Nissan.



Ilustración 25 Presentación del boceto
Fuente: Propia

Solid Edge

Para el diseño del nuevo herramental, Solid Edge fue esencial gracias a su conjunto de herramientas CAD, que facilitó la creación de modelos detallados y bocetos precisos desde la fase inicial hasta la optimización final. El proceso comenzó con el uso de herramientas básicas de dibujo, como líneas, círculos y arcos, que ayudaron a establecer la geometría inicial del diseño. Estas formas base permitieron estructurar de manera efectiva el boceto inicial, que posteriormente fue transformado en un modelo 3D más complejo y funcional.

Al presentar el primer prototipo, el boceto inicial fue mostrado al encargado de todas las áreas de ingeniería, quien identificó el diseño de "tapas" como la opción más adecuada, como se muestra en las siguientes ilustraciones.

En la ilustración 26 se muestra el “Primer Diseño” en modo Planta.

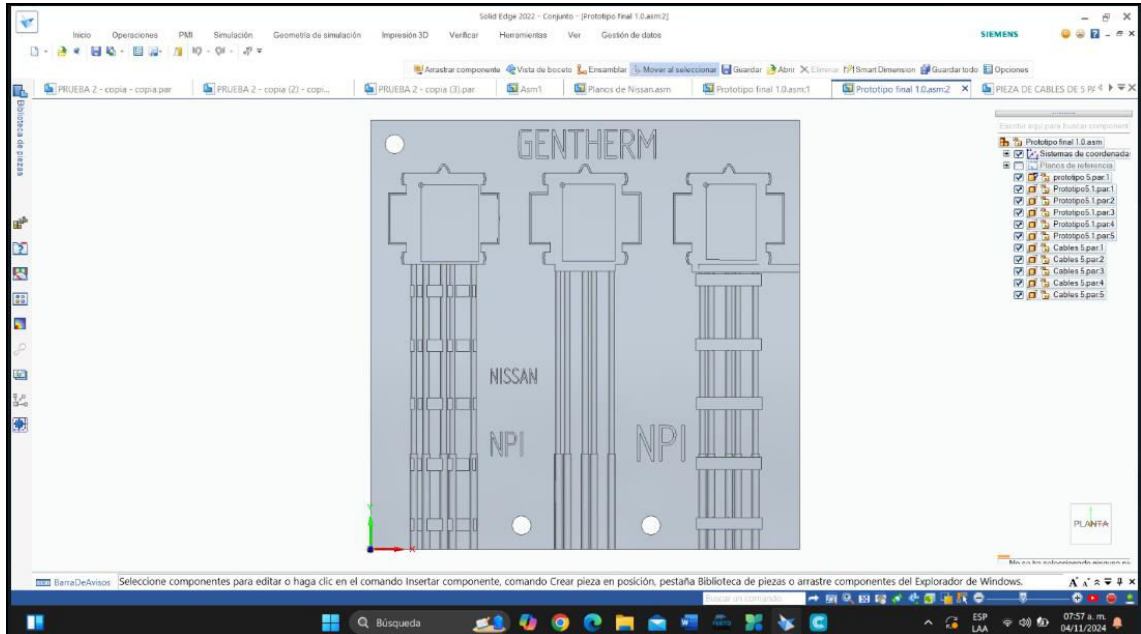


Ilustración 26 Vista del Primer Diseño Planta
Fuente Propia

En la ilustración 27 se muestra el “Primer Diseño” en modo Vista Alzado.

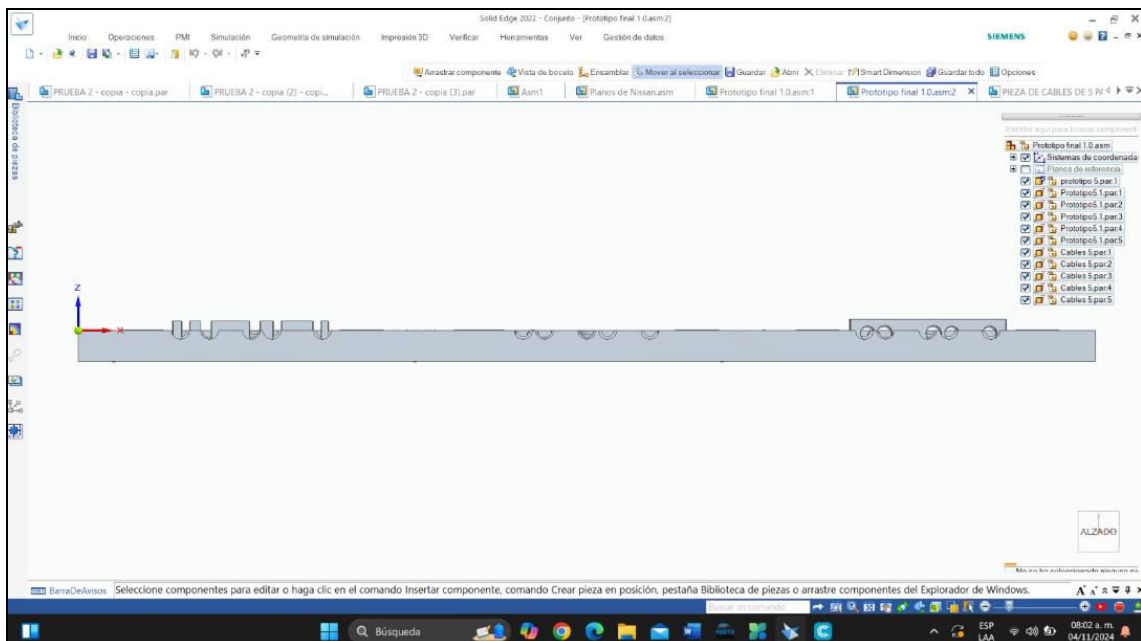


Ilustración 27 Primer Diseño Vista Alzado
Fuente: Propia

En la ilustración 28 se muestra el “Primer Diseño de Tapas de 5 cables” en modo Vista Alzado.

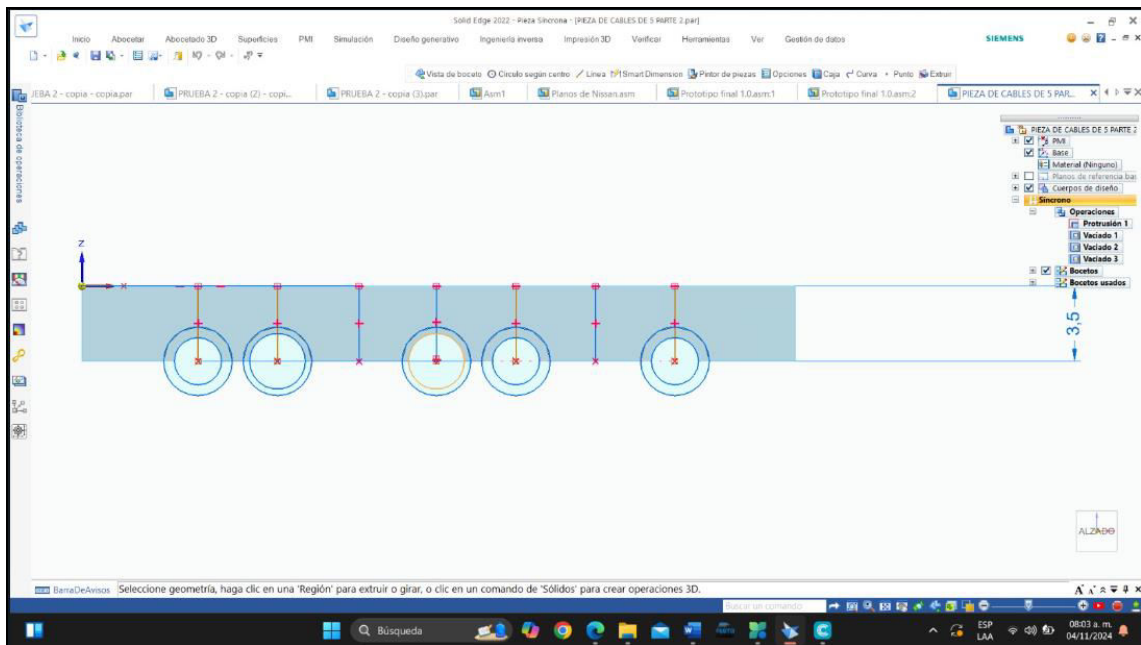


Ilustración 28 Primer diseño Tapa de 5 cables Vista Alzado
Fuente Propia

En la ilustración 29 se muestra el “Primer Diseño Tapa” en modo vista Inferior.

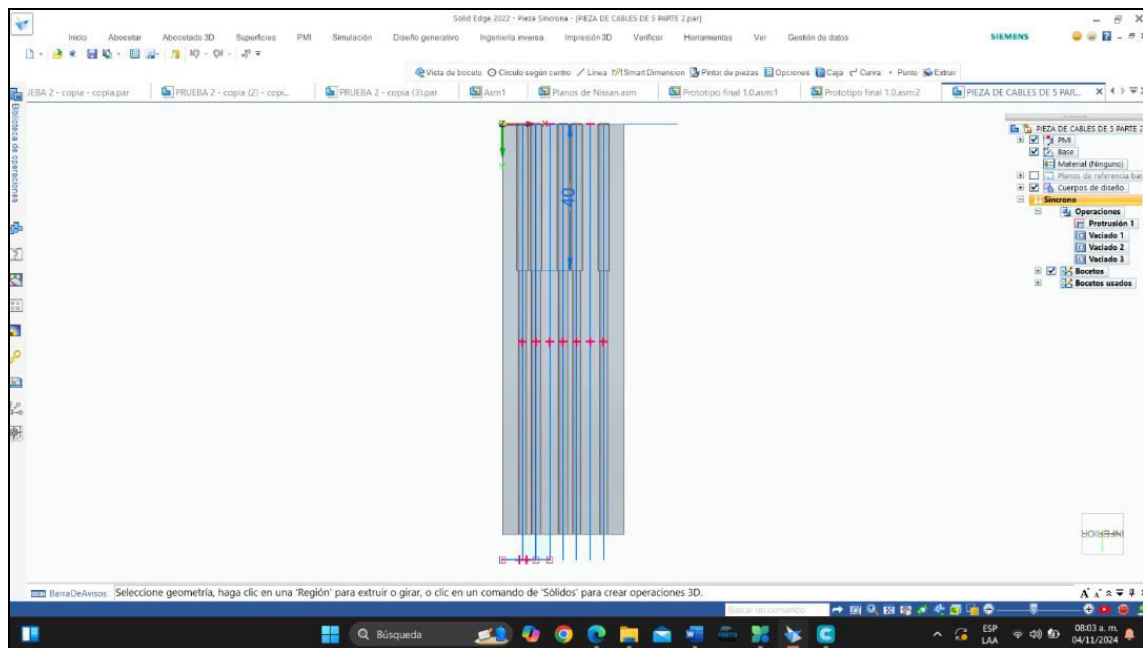


Ilustración 29 Primer diseño Tapa Vista Inferior
Fuente: Propia

Segundo Diseño

Objetivo del Prototipo Inicial: El propósito de este primer prototipo fue evaluar la viabilidad del diseño de tapas y su ajuste en las PCBs, asegurando que los cables se mantuvieran en su lugar de manera firme y que el tubo cónico facilitara la inserción de los cables en la PCB. Esta fase fue fundamental para validar que el diseño permitiera una inserción precisa y segura de los cables en la posición deseada.

Evaluación de Ajuste y Funcionalidad: El diseño se centró en garantizar la precisión del ajuste de las tapas en las PCBs, evaluando cómo estas guiaban los cables hacia sus posiciones finales sin causar daño. Las pruebas iniciales verificaron si las tapas ofrecían el nivel de protección necesario y si facilitaban la alineación adecuada de los cables, contribuyendo a la estabilidad en la colocación.

Análisis de Material y Producción: Para este segundo prototipo, que fue probado en la máquina de soldadura, el enfoque principal era evaluar la forma y función del diseño en un entorno de producción real. Se emplearon materiales y técnicas de impresión que permitieran modificar el prototipo

fácilmente en futuras iteraciones, manteniendo así la flexibilidad para realizar ajustes según las necesidades detectadas.

Debido a las limitaciones del robot de soldadura, que se mueve en los ejes X, Y y Z, y por cuestiones administrables el programa no es modificable. Esta observación permitió realizar ajustes en las medidas del diseño y hacer una revisión técnica más exhaustiva, encaminada a mejorar la precisión en futuras fases de pruebas.

En las siguientes ilustraciones se muestra el segundo diseño en Solid Edge.

En la ilustración 30 se muestra el “Segundo Diseño” en modo Planta.

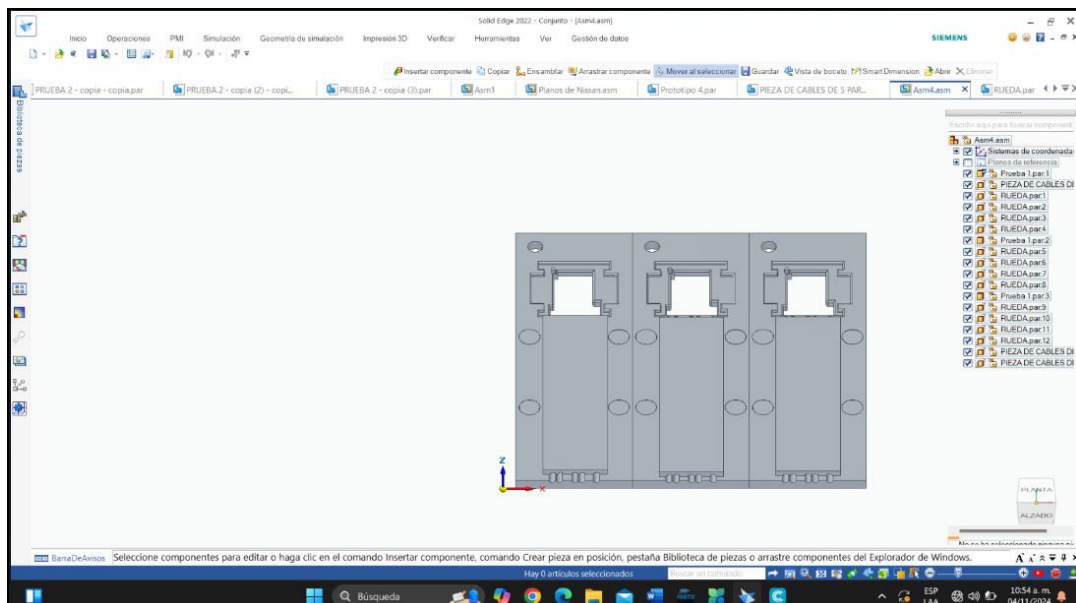


Ilustración 30 Vista del Segundo Diseño Planta
Fuente: Propia

En la ilustración 31 se muestra el “Segundo Diseño” en modo Alzado.

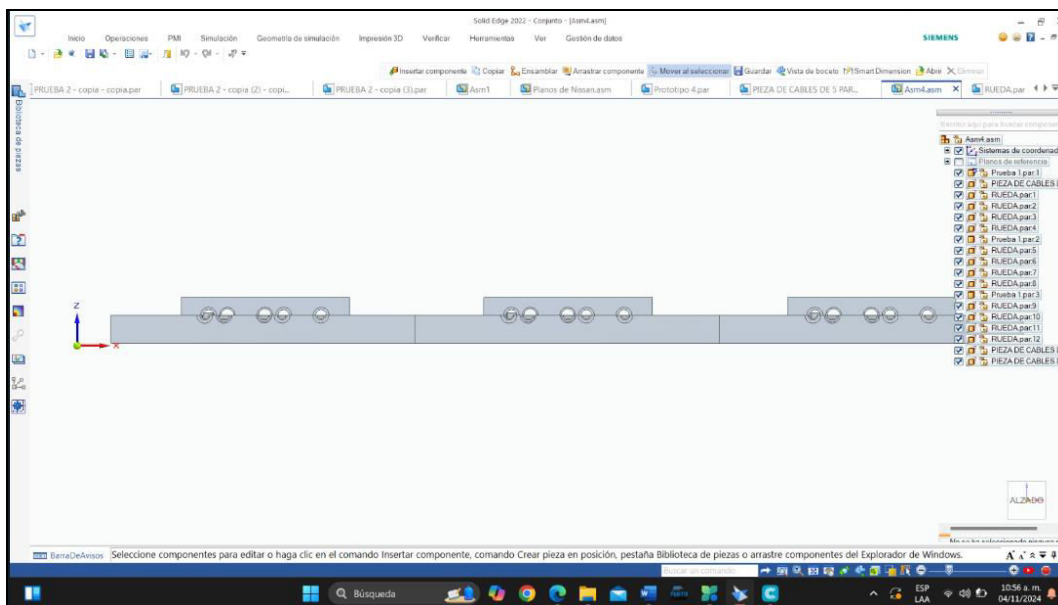


Ilustración 31 Vista del Segundo Diseño Alzado
Fuente: Propia

Tercer Diseño

Para el desarrollo del tercer diseño, se introdujeron mejoras clave para optimizar la funcionalidad del herramental:

Incorporación del Mango con imanes y Orificios Cónicos: Este tercer prototipo incluyó un mango en la tapa y orificios cónicos con imanes para sujetar los cables en la PCB, lo que facilitó el manejo del herramental y redujo la fatiga de los operadores. Este diseño se modeló para tres PCBs y fue bien recibido por el equipo de ingeniería, ya que el mango facilitaba la manipulación y aseguraba la estabilidad en el proceso de colocación de cables.

Evaluación de Medidas y Altura del Molde: Durante las pruebas con la máquina de soldadura, surgieron inconvenientes con las dimensiones del molde. La máquina no lograba alinear adecuadamente los cinco cables y se observó una desalineación en la altura en el eje Z, lo que afectaba la precisión en la soldadura y causaba errores en el ensamblaje.

Ajuste de la Nivelación de la Base de Impresión: La nivelación de la cama de impresión también mostró inconsistencias, produciendo impresiones

con una altura desigual, lo cual impactaba la precisión y funcionalidad del prototipo. Este problema resaltó la importancia de una calibración precisa de la base antes de cada impresión para garantizar que el modelo se imprima de manera uniforme y evitar ajustes posteriores en la alineación de los componentes.

Este tercer prototipo, aunque presentaba mejoras significativas en ergonomía y manejo, reveló la necesidad de realizar ajustes en las medidas y la configuración de la cama de impresión para asegurar que el diseño cumpla con los estándares de producción. Estos hallazgos sentaron las bases para perfeccionar el diseño final y lograr un herramental funcional y optimizado.

En la ilustración 32 se muestra el “Tercer Diseño” en modo Planta.

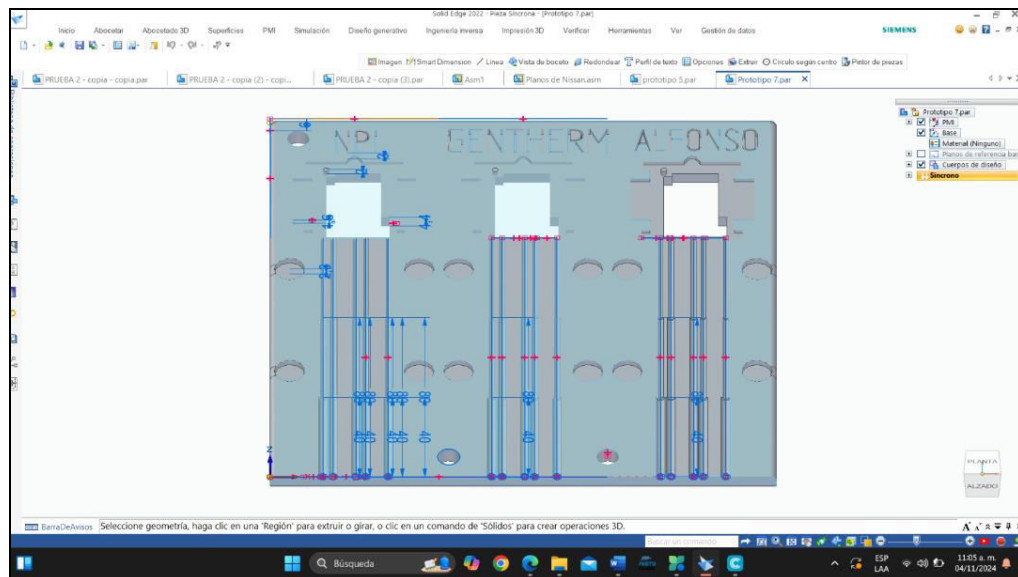


Ilustración 32 Tercer Diseño Vista Planta
Fuente: Propia

En la ilustración 33 se muestra el “Diseño de Tapa” en vista Planta.

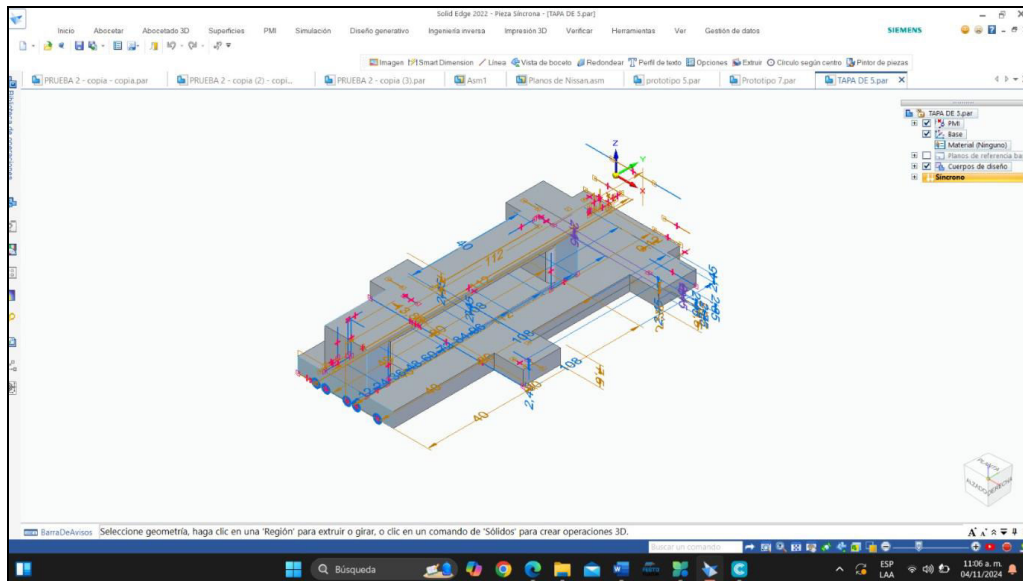


Ilustración 33 Diseño de Tapa Vista Planta
Fuente: Propia

Cuarto Diseño en Solid Edge

En el cuarto diseño, se identificó la necesidad de optimizar tanto el consumo de material como la precisión del herramental, especialmente en relación con la nivelación de la cama de impresión y el ajuste de la máquina de soldadura:

Reducción de Material y Optimización de Costos: Dado que el diseño anterior utilizaba una base de tres PCBs, se decidió reducir la estructura a una base para una sola PCB. Este cambio no solo disminuyó significativamente el uso de PLA, sino que también agilizó los tiempos de impresión, permitiendo realizar pruebas de manera más eficiente y económica. Esta modificación ayudó a mantener el enfoque en verificar los aspectos técnicos sin incurrir en excesos de material.

Verificación de Errores en la Nivelación de la Cama de Impresión: Durante las pruebas previas, se identificaron problemas en la nivelación de la cama, lo que causaba impresiones desiguales con un lado del prototipo más alto que el otro. En este diseño, se realizaron ajustes finos para asegurar una

nivelación precisa de la cama de impresión. Este proceso de verificación y ajuste fue crucial para evitar errores de alineación en el producto final.

Ajuste en la Soldadura del Robot: El prototipo de una sola PCB permitió realizar pruebas específicas de ajuste en las posiciones de soldadura del robot para cada punto. Este diseño sirvió para verificar la precisión en los movimientos del robot en los ejes X, Y y Z, asegurando que la posición de los cables y su soldadura fueran correctas en cada prueba. Las pruebas sucesivas permitieron corregir pequeñas desviaciones y mejorar la interacción del herramental con el equipo de soldadura automatizado.

- **Facilidad para Iteraciones de Ajuste:** Al tener una base más compacta, se facilitó la manipulación y ajuste del herramental en cada prueba. Esto permitió hacer modificaciones rápidas en la configuración y volver a probar sin necesidad de reimprimir estructuras más grandes, optimizando la velocidad de desarrollo.

Este cuarto diseño sentó las bases para identificar los ajustes finales necesarios antes de avanzar hacia la creación de un prototipo más robusto y preparado para pruebas de validación adicionales en el entorno de producción real.

En la ilustración 34 se muestra El “Cuarto Diseño” en Solid Edge.

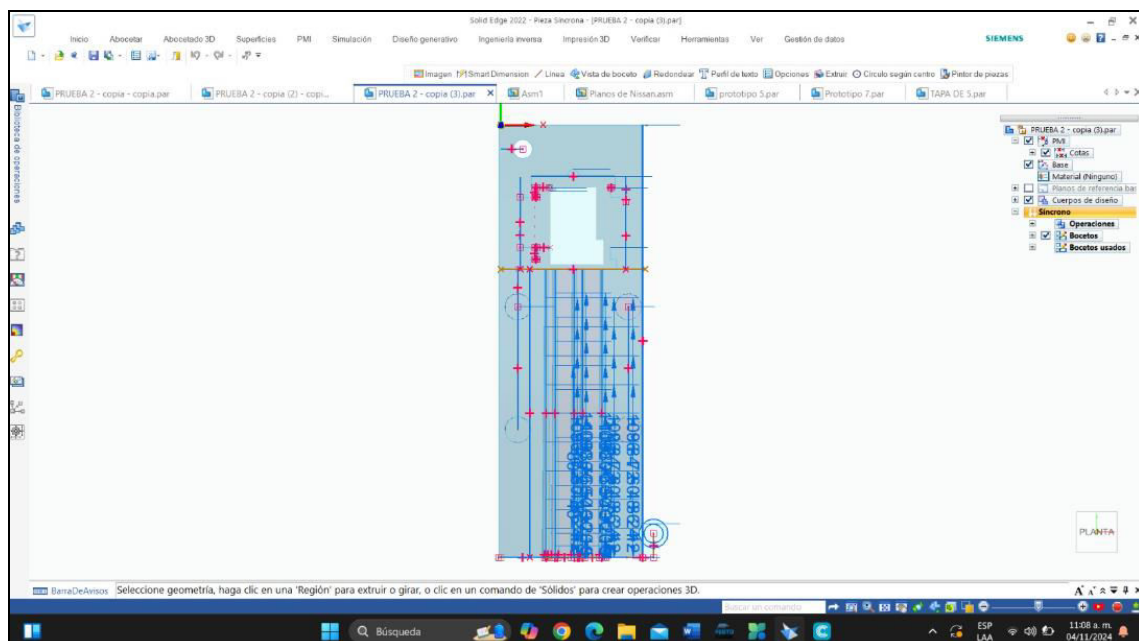


Ilustración 34 Cuarto Diseño Vista Planta
Fuente: Propia

Quinto diseño en Solid Edge

Este quinto diseño representó el ajuste final del prototipo, ya que se lograron resultados satisfactorios en precisión, ergonomía y facilidad de uso:

- **Uso de la Herramienta de Ensamblaje en Solid Edge:** Al obtener buenos resultados con la base de una PCB en el cuarto diseño, se procedió a ensamblar tres bases en un solo conjunto en Solid Edge, lo que permitió evaluar el ajuste y alineación de la herramienta en un entorno de múltiples PCBs. Este ensamblaje se configuró en Solid Edge para crear una visualización realista del prototipo en condiciones similares a las del proceso de producción.
- **Modificación de los Agujeros para Ajuste en Máquina:** Se hicieron ajustes a los orificios de montaje, de acuerdo con la configuración de la máquina de producción, para asegurar una fijación precisa y estable del prototipo en el equipo. Estos cambios en los agujeros de sujeción optimizaron la estabilidad del herramental durante el proceso de soldadura, asegurando que la herramienta quedara perfectamente alineada con la PCB en todo momento.
- **Ajustes en los Tubos Cónicos:** Para mejorar la inserción de los cables, se modificaron las dimensiones de los tubos cónicos, ampliando ligeramente la entrada para facilitar la guía y alineación de los cables sin perder precisión en la posición final en la PCB. Esto también aumentó la facilidad de manejo y redujo el esfuerzo de los operadores durante la colocación de los cables.
- **Modificación en los Agujeros de la Tapa:** Se ajustaron también los agujeros en la tapa para alinearlos mejor con las posiciones finales de los cables y asegurar un ajuste que evitara movimientos innecesarios al fijar los cables en su lugar. Este cambio adicional garantizó que la tapa mantuviera los cables en la posición exacta, mejorando la ergonomía y precisión del proceso.

Este último diseño consolidó las mejoras necesarias, permitiendo resultados confiables y un prototipo listo para las pruebas finales en el proceso de ensamblaje.

En la ilustración 35 se muestra el “Diseño Final” en vista Planta.

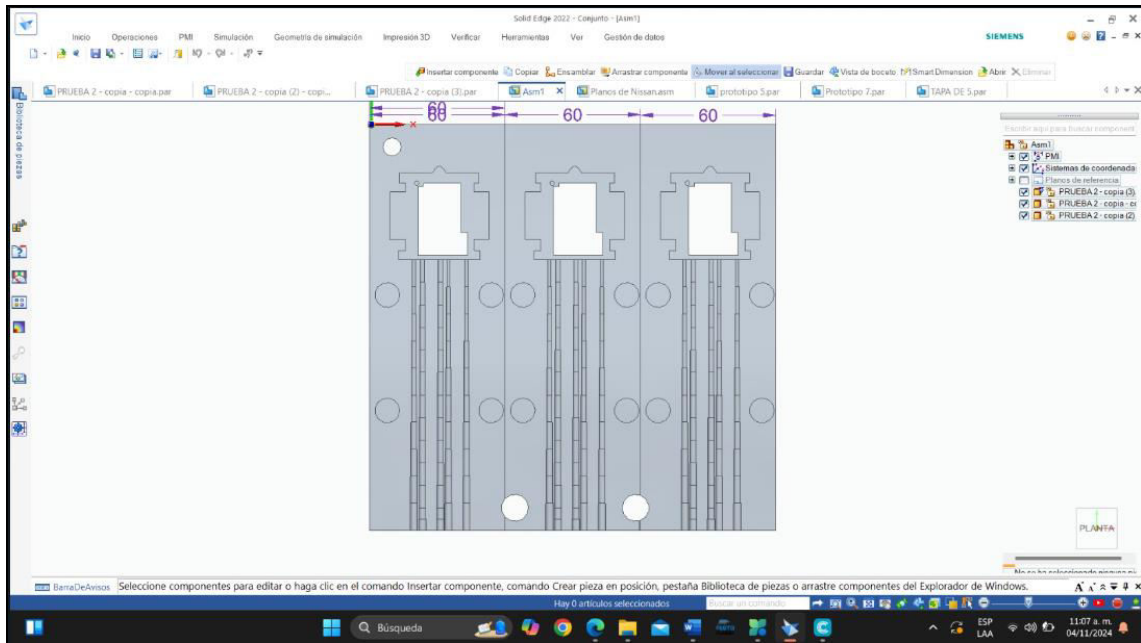


Ilustración 35 Diseño Final Vista Planta
Fuente: Propia

En la ilustración 36 se muestra el “Diseño de Tapa Final” en vista alzado

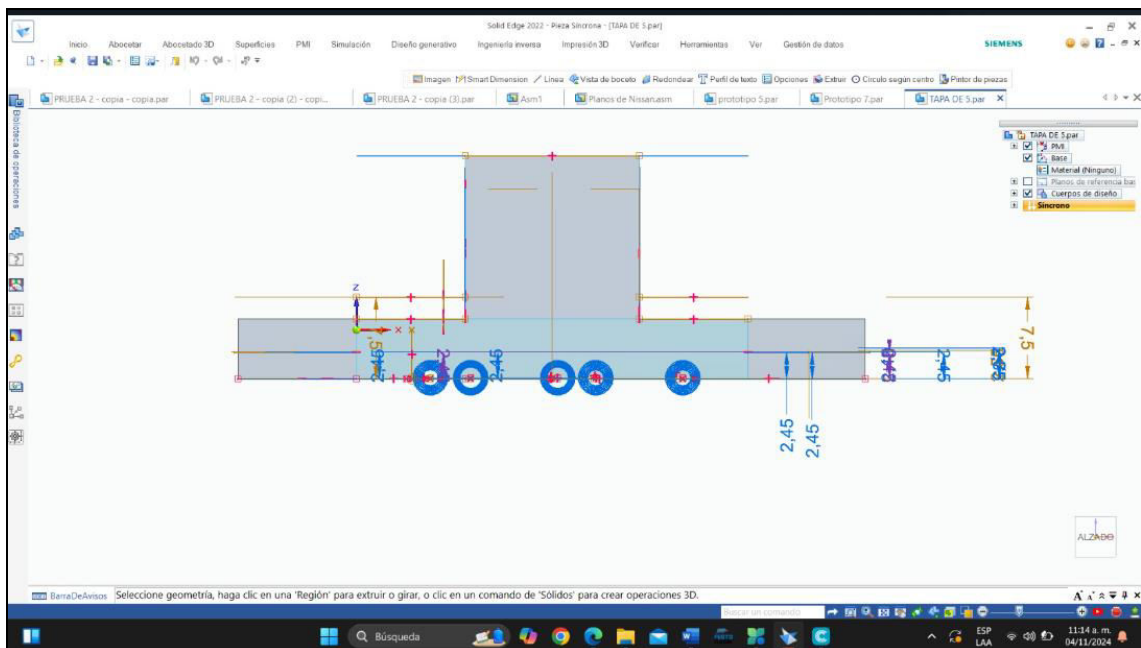


Ilustración 36 Diseño de Tapa Final Vista Alzado
Fuente: Propia

Para documentar el diseño final del prototipo, se generaron planos detallados en Solid Edge que incluyen cada componente y ensamblaje del diseño, especificando sus medidas exactas y características clave. Estos planos son fundamentales no solo para validar y replicar el diseño, sino también para facilitar su revisión por parte del equipo de ingeniería, quienes podrán usar esta referencia técnica precisa para fabricar el herramental en materiales más duraderos o específicos para su uso prolongado en producción.

Este conjunto de planos técnicos representa la culminación del proceso de diseño iterativo, capturando todas las mejoras y ajustes realizados durante las distintas fases de desarrollo. Al estar debidamente documentado, el diseño permite que el equipo de ingeniería evalúe opciones de materiales alternativos, optimizando así su implementación y asegurando que el modelo final cumpla con los requisitos de producción, montaje y durabilidad en el proceso de ensamblaje de PCB.

En la ilustración 37 se muestra el “Planos Del Diseño Final”.

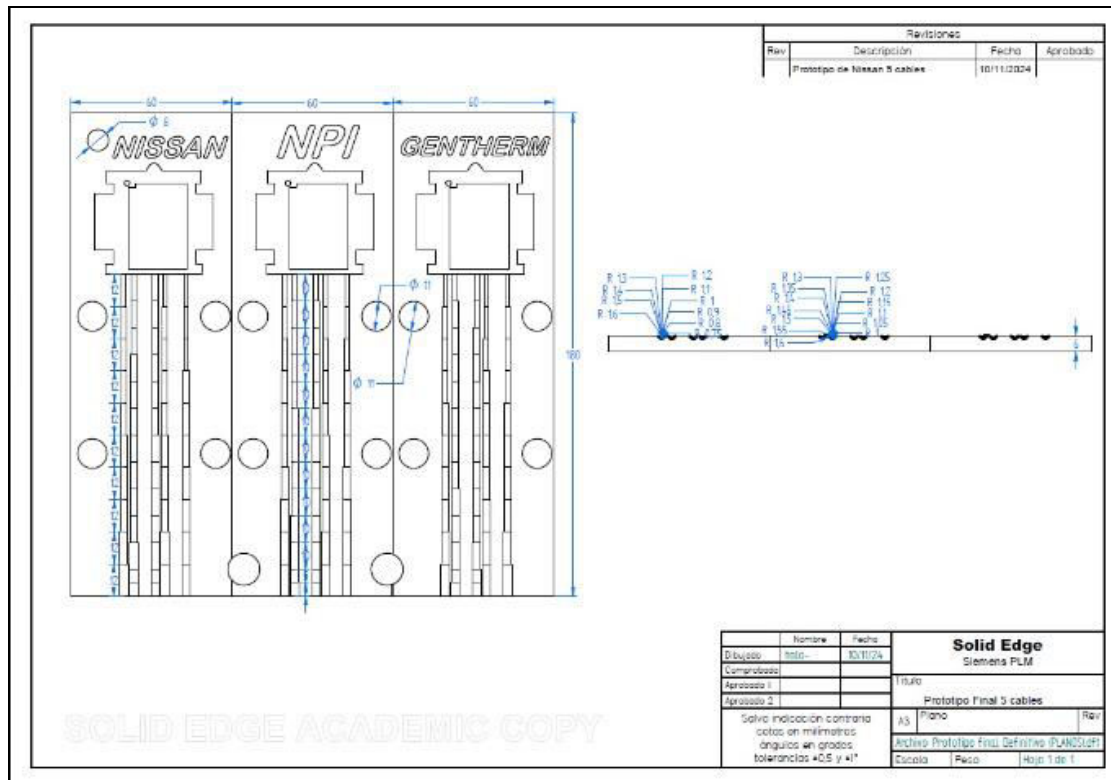


Ilustración 37 Planos Del Diseño Final
Fuente: Propia

Además de los planos generales, se generaron diseños específicos para las tapas, las cuales son un componente clave en el ensamblaje final. Estas tapas fueron diseñadas para ajustarse de manera segura y precisa a la PCB, manteniendo los cables en su posición sin dañarlos y permitiendo una fácil manipulación. Los planos detallan las dimensiones y ajustes de los orificios cónicos de las tapas, optimizados para facilitar la inserción de los cables y evitar su desplazamiento.

Estos planos de las tapas permiten tanto la revisión técnica como la replicación precisa en futuras versiones, consolidando el diseño como una solución integral para mejorar la ergonomía y eficiencia en la producción.

En la ilustración 38 se muestra el “Planos Del Diseño Final”.

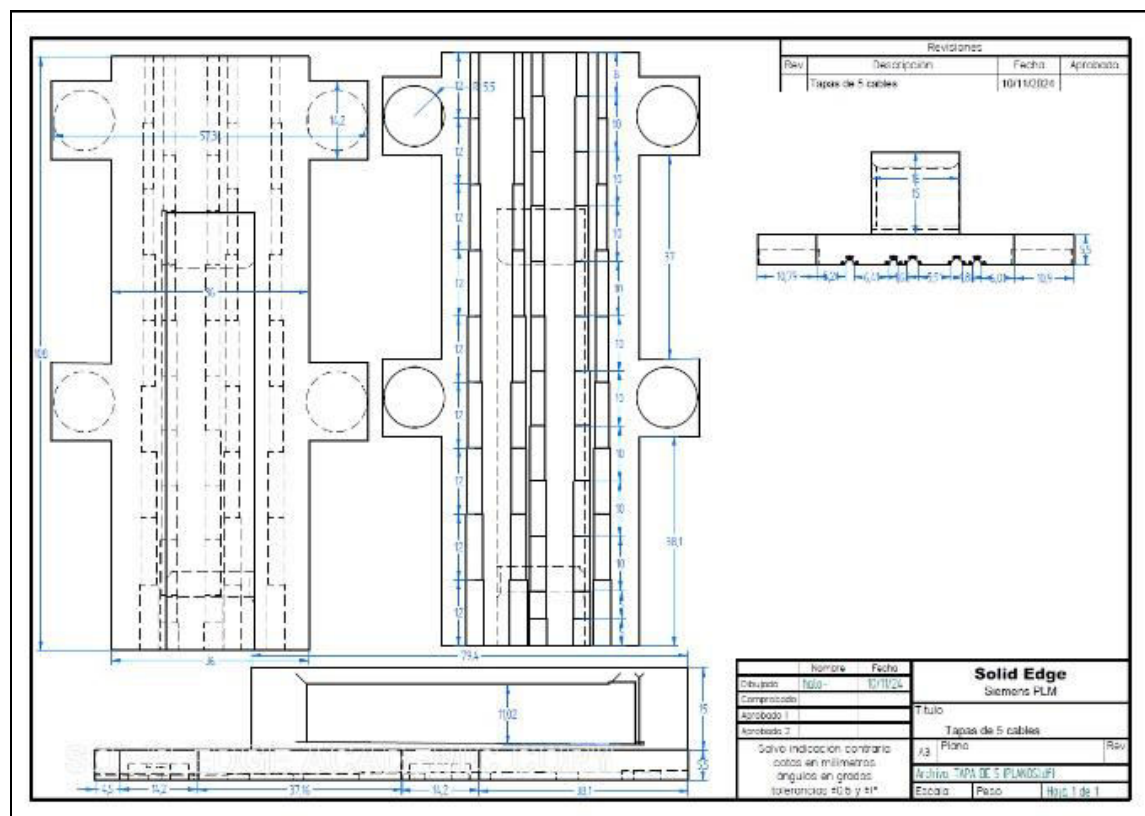


Ilustración 38 Planos de Diseño de Tapa Final
Fuente: Propia

5.3 Objetivo 3. Prototipo y pruebas

La impresora Ender 3 fue elegida por su precisión y accesibilidad, características que permiten un control detallado del proceso de fabricación aditiva y la producción de prototipos de alta calidad, lo cual fue fundamental en el diseño del nuevo herramental.

En la ilustración 39, se observa la impresora 3D Ender 3 que se utilizó.



Ilustración 39 Impresora 3D Ender 3
Fuente: Propia

Interfaz de usuario y pantalla LCD: La Ender 3 está equipada con una pantalla LCD y un dial rotatorio, que permite a los usuarios navegar por las configuraciones y opciones de impresión. La interfaz es intuitiva y fácil de usar, mostrando parámetros clave como la temperatura del cabezal de impresión y de la cama, el porcentaje de avance de la impresión y la duración estimada restante del trabajo.

En la ilustración 40 se muestra Interfaz de usuario y pantalla LCD.



Ilustración 40 Interfaz de usuario y pantalla LCD
Fuente: Propia

Configuraciones predeterminadas: La Ender 3 permite acceder a varias configuraciones predeterminadas, como:

- **Velocidad de impresión y densidad de relleno**, que son ajustables dependiendo del tipo de modelo que se imprima, proporcionando un balance entre la durabilidad y el tiempo de producción.
- **Modo de impresión rápida o calidad:** Algunas configuraciones preestablecidas en el menú permiten elegir entre opciones de impresión rápida para prototipos iniciales y modos de alta calidad para versiones finales.
- **Alertas y monitoreo en tiempo real:** La pantalla también puede mostrar alertas si ocurre un problema, como si se interrumpe el suministro de filamento o si se detecta una obstrucción en el extrusor. Esto ayuda a prevenir errores que pueden afectar la calidad del prototipo o incluso arruinar la impresión por completo.
- **Control de temperatura y ajustes durante la impresión:** Además, la interfaz permite realizar ajustes en tiempo real, como modificar la

temperatura de extrusión y la velocidad de la impresión sin tener que detenerla. Esta característica es útil para realizar pruebas y ajustes dinámicos, especialmente cuando se experimentan condiciones ambientales que afectan la adherencia y calidad del modelo.

En la ilustración 41 se muestra la Configuraciones predeterminadas de la impresora Ender 3.



Ilustración 41 Configuraciones predeterminadas
Fuente: Propia

Para garantizar resultados óptimos en la impresión del nuevo herramental, se puso especial atención a la nivelación de la cama de impresión de la impresora Ender 3, un factor crucial para asegurar una correcta adhesión de la primera capa. La nivelación precisa evita problemas de alineación y deformación en las piezas impresas. Antes de iniciar cada impresión, se llevó a cabo un ajuste manual de la placa utilizando el sistema de nivelación de la impresora, asegurándose de que cada punto esté equidistante de la boquilla.

Una placa mal nivelada podría resultar en capas iniciales desiguales, lo que no solo comprometería la calidad estética del herramental, sino también su funcionalidad y durabilidad. La importancia de este ajuste se supervisa durante

las iteraciones de prueba, ya que permitirá obtener piezas con bordes uniformes y una base sólida. Esta medida, en conjunto con los parámetros de impresión ajustados, garantizó que cada prototipo fuera confiable y adecuado para uso prolongado en el ambiente de producción.

En la ilustración 42 se muestra la Nivelación de la cama de impresión de la impresora.

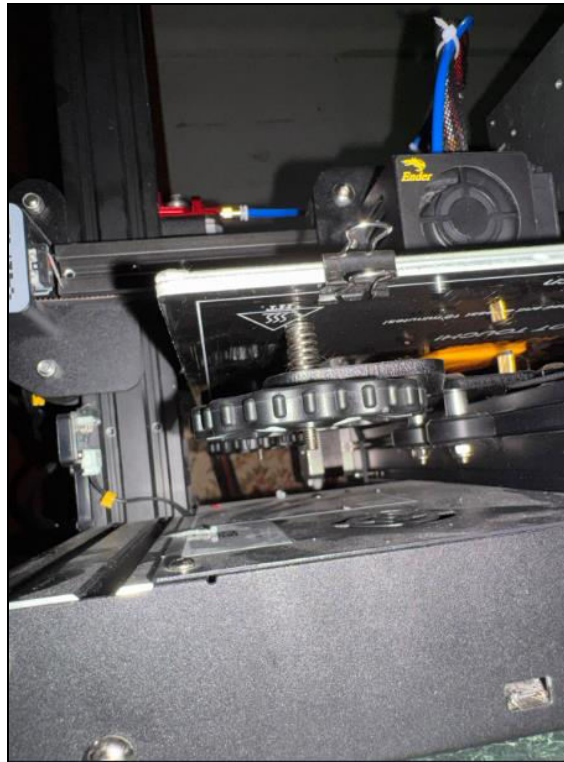


Ilustración 42 Nivelación de la cama de impresión de la impresora
Fuente: Propia

El filamento PLA (ácido poliláctico) fue seleccionado como material de impresión por sus propiedades mecánicas adecuadas para prototipos. Este material es resistente, biodegradable, y fácil de manejar en la Ender 3, lo que facilitó la producción de un modelo preciso del herramental con menores tiempos de impresión y optimización en el costo.

En la ilustración 43 se muestra el filamento PLA que se utilizó para imprimir los prototipos.



Ilustración 43 Filamento PLA
Fuente: Propia

Creality Slicer

Para la implementación del software *Creality Slicer*, se llevaron a cabo configuraciones específicas para el prototipo, permitiendo un control preciso sobre cada detalle del modelo en la impresión final. *Creality Slicer* ofrece un conjunto amplio de opciones de ajuste para la altura de capa, velocidad de impresión, densidad de relleno, y temperatura de extrusión, configuraciones que se adaptaron específicamente para el diseño del herramental con el objetivo de optimizar tanto la resistencia como el tiempo de producción de cada pieza. Estas configuraciones fueron claves para alcanzar la calidad y precisión necesarias, ya que un desajuste podría haber resultado en problemas como errores de alineación en las capas o estructuras inestables en el modelo final.

En cuanto a la configuración en los ejes *X*, *Y*, y *Z*, se ajustaron con precisión para asegurar que cada capa del prototipo estuviera perfectamente alineada, evitando inclinaciones o desplazamientos que afectarían la funcionalidad del diseño. *Creality Slicer* permitió definir estos parámetros, maximizando la estabilidad y minimizando el desperdicio de material. Además, el software ofrece una vista previa de la trayectoria de impresión, lo que hizo posible analizar y optimizar las posiciones de inicio y fin en cada capa,

asegurando un ajuste adecuado de los cables y una alineación exacta con los puntos de sujeción.

Para asegurar la compatibilidad con *Creality Slicer* y optimizar la preparación del archivo para la impresión, el diseño fue exportado en formato *STL* (Standard Tessellation Language) desde Solid Edge. Este formato facilitó la transferencia de geometrías y la preservación de detalles específicos del diseño CAD, garantizando que la impresora interpretara con precisión cada componente del modelo. Las configuraciones específicas de este prototipo también incluyeron la calibración de soportes para geometrías complejas, evitando así deformaciones en áreas críticas.

Para configurar la impresión de cada prototipo, la selección del diámetro de la tobera (o puntilla) fue un factor clave en la personalización del proceso, ya que influye tanto en el tiempo de impresión como en el nivel de detalle del prototipo. En los primeros tres prototipos, se utilizó una puntilla de **0.8 mm**, mientras que para los dos últimos diseños se optó por una de **1.0 mm** para optimizar los tiempos de impresión.

En la siguiente ilustración 44 se muestra las boquillas de la impresora 3D.



Ilustración 44 Boquillas de la impresora 3D
Fuente: Propia

En la ilustración 45 se muestra la Personalización de Boquilla.

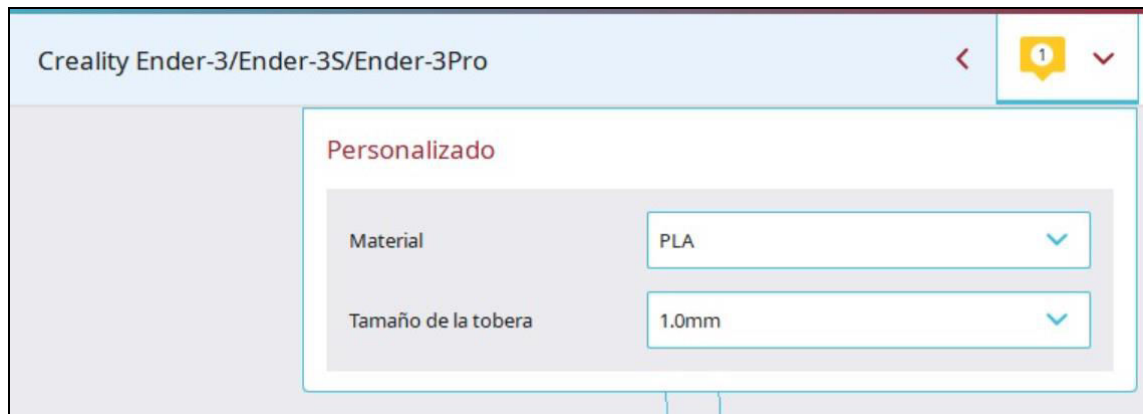


Ilustración 45 Personalización de Boquilla
Fuente: Propia

Modificación del tamaño en los ejes X, Y y Z

En Creality Slicer, se puede ajustar individualmente la escala de los ejes X, Y y Z para cambiar las proporciones del modelo. Esto se hizo útil al verificar cómo el diseño del prototipo se adaptaba al espacio asignado en la máquina de soldadura y al entorno de ensamblaje de la PCB. Los ajustes en cada eje permitieron afinar el tamaño del prototipo y realizar pruebas rápidas sin tener que rediseñar el modelo desde cero.

En la ilustración 46 se muestra la Modificación del tamaño en los ejes X, Y y Z.

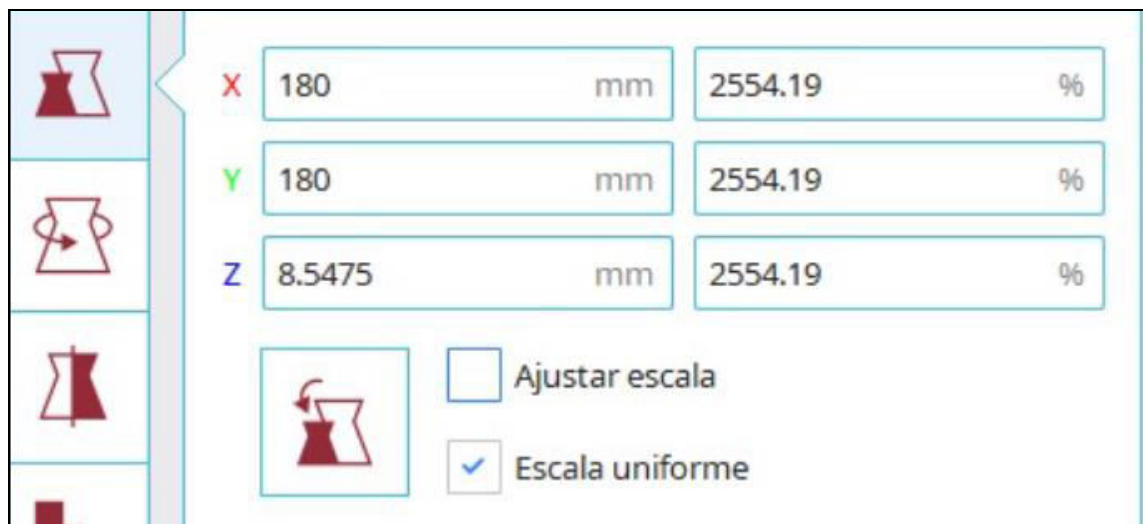


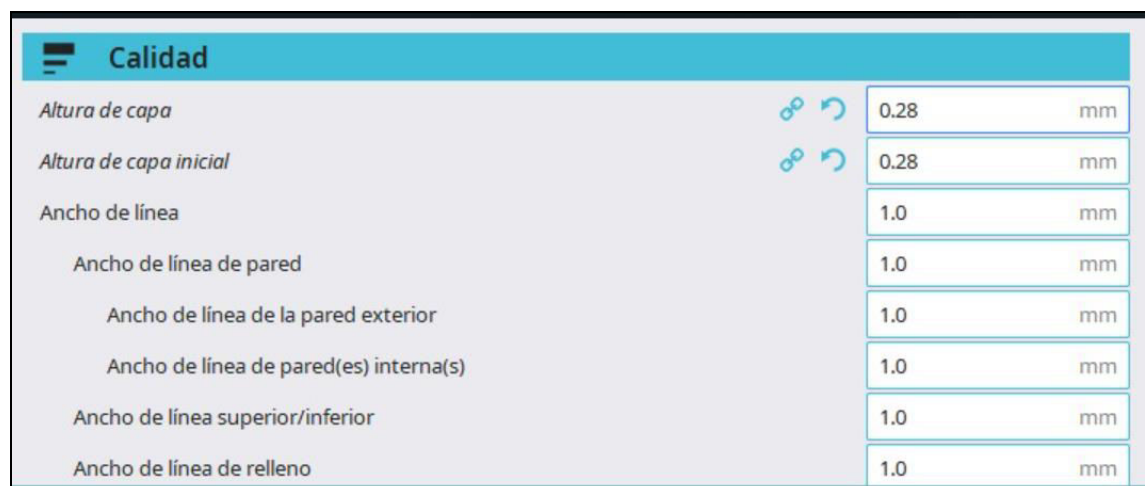
Ilustración 46 Modificación del tamaño en los ejes X, Y y Z
Fuente: Propia

Calidad

En el apartado de Calidad dentro de *Creality Slicer*, la configuración de la altura de capa y la altura de capa inicial juegan un papel fundamental en el acabado y precisión del prototipo. En este caso, se ha configurado una altura de capa y de capa inicial de **0.28 mm**, lo que proporciona un balance entre detalle y eficiencia en el tiempo de impresión.

- **Altura de capa:** Define el grosor de cada capa impresa y es crucial para determinar la calidad superficial del modelo. Una altura de capa de 0.28 mm ofrece un nivel moderado de detalle, suficiente para cumplir con los requisitos de funcionalidad y estructura del prototipo sin alargar excesivamente el tiempo de impresión.
- **Altura de capa inicial:** La primera capa de impresión es especialmente importante para garantizar la adhesión del modelo a la cama. Una altura inicial de 0.28 mm proporciona una base firme, permitiendo una buena adhesión y minimizando el riesgo de deformaciones o problemas de nivelación en la base del modelo.

En la ilustración 47 se muestra la Configuración de Calidad.



Calidad	
Altura de capa	0.28 mm
Altura de capa inicial	0.28 mm
Ancho de línea	1.0 mm
Ancho de línea de pared	1.0 mm
Ancho de línea de la pared exterior	1.0 mm
Ancho de línea de pared(es) interna(s)	1.0 mm
Ancho de línea superior/inferior	1.0 mm
Ancho de línea de relleno	1.0 mm

Ilustración 47 Configuración de Calidad
Fuente: Propia

Relleno

En el apartado de **Relleno** de *Creality Slicer*, se ha configurado un **12% de densidad de relleno**, lo cual representa un balance entre durabilidad y eficiencia de impresión. Este nivel de relleno es suficiente para mantener la resistencia estructural necesaria del prototipo sin incrementar de forma considerable el tiempo de impresión ni el consumo de material.

Con un relleno del 12%, el prototipo obtiene la solidez adecuada para soportar pruebas de ajuste y manejo durante el desarrollo sin ser frágil. Es un porcentaje ideal para aplicaciones que no soportarán cargas extremas pero que necesitan cierta resistencia.

Por lo tanto, efectiva para garantizar que el prototipo sea resistente y funcional, manteniendo los recursos y el tiempo de impresión en niveles óptimos.

La ilustración 48 se presenta la Configuración de Relleno.



Ilustración 48 Configuración de Relleno
Fuente: Propia

Material

Se configuraron los siguientes ajustes clave de temperatura para optimizar la calidad de impresión y la adherencia del prototipo a la placa de impresión:

Temperatura de impresión: Esta temperatura fue seleccionada para el filamento PLA utilizado en el proyecto, proporcionando una fusión adecuada del material, lo cual permite obtener una fluidez y adherencia óptima entre las capas. A 222°C, el PLA se extruye de manera constante, lo que minimiza las posibles deformaciones y asegura un buen acabado superficial.

Temperatura de la placa de Impresión: Esta configuración asegura que el prototipo permanezca firmemente adherido a la base durante la impresión, minimizando el riesgo de que se desprenda o se deforme, especialmente en las primeras capas.

Estas configuraciones de temperatura contribuyen a lograr un prototipo con un acabado de calidad y una estructura estable, aspectos críticos para su manipulación y pruebas en etapas posteriores del desarrollo.

La ilustración 49 se presenta la Configuración de Material.

Material			
Temperatura de impresión		222	°C
Temperatura de impresión de la capa inicial		222	°C
Temperatura de impresión inicial		222	°C
Temperatura de impresión final		222	°C
Temperatura de la placa de impresión		60	°C
Temperatura de la placa de impresión en la capa inicial		60	°C
Flujo		100	%
Flujo de pared		100	%

Ilustración 49 Configuración de Material
Fuente: Propia

Velocidad

En el apartado de Velocidad, se mantuvieron las configuraciones predeterminadas de Creality Slicer. Esta configuración por defecto está equilibrada para asegurar una buena combinación entre calidad de impresión y tiempo de producción.

Aunque no se modificó la velocidad, esta configuración asegura un balance adecuado entre el tiempo de impresión y la calidad. En futuros ajustes, se podría experimentar con velocidades más altas para reducir el tiempo de producción o más bajas si se requieren detalles aún más precisos en áreas específicas del prototipo.

Este ajuste predeterminado resultó adecuado para los requerimientos del diseño sin comprometer la durabilidad ni la funcionalidad del prototipo.

La ilustración 50 se muestra la Configuración de Velocidad.



Velocidad de impresión	50.0	mm/s
Velocidad de relleno	50.0	mm/s
Velocidad de pared	25.0	mm/s
Velocidad de pared exterior	25.0	mm/s
Velocidad de pared interior	25.0	mm/s
Velocidad superior/inferior	25.0	mm/s
Velocidad de desplazamiento	120.0	mm/s
Velocidad de capa inicial	20.0	mm/s

Ilustración 50 Configuración de Velocidad

Fuente: Propia

Soporte

En el apartado de Soporte, se utilizó el modo árbol exclusivamente para el diseño de las tapas con mango. Este tipo de soporte es particularmente útil cuando se tienen componentes con geometrías complejas o partes sobresalientes, ya que su estructura ramificada proporciona un soporte eficiente solo en las áreas necesarias, minimizando el uso de material adicional y reduciendo el tiempo de limpieza posterior.

El uso del soporte en modo árbol para el diseño de las tapas fue eficaz para asegurar que el mango y sus detalles más finos se imprimieran correctamente.

En la ilustración 51 se muestra la configuración de soporte.



Ilustración 51 Configuración de Soporte
Fuente: Propia

Adherencia de la placa de impresión

La Adherencia de la Placa de Impresión, se implementaron estrategias para mejorar el agarre del modelo en la cama de impresión, asegurando que cada prototipo se mantuviera firme durante todo el proceso de impresión y evitando deformaciones en la base. Esto es fundamental para lograr precisión y estabilidad en los componentes impresos, sobre todo en los diseños con dimensiones ajustadas y áreas de contacto reducidas.

La adherencia de la placa de impresión se mantuvo constante para todos los prototipos, garantizando estabilidad y precisión durante las impresiones.

En la ilustración 52 se muestra la configuración de la adherencia de la placa de impresión.

Adherencia de la placa de impresión

Tipo adherencia de la placa de impresión

Borde

Longitud mínima de falda/borde

250

mm

Ancho del borde

8.0

mm

Recuento de líneas de borde

8

Distancia del borde

0

mm

Sustituir soporte por borde

Borde solo en el exterior

✓

Ilustración 52 Configuración de adherencia de la placa de impresión
Fuente: Propia

Por último, *Creality Slicer* permitió que el prototipo impreso reflejara con precisión el diseño original en STL, manteniendo cada especificación de tamaño, grosor, y detalle necesario para su implementación en el proceso de montaje de PCB.

Primer Diseño en *Creality Slicer*

Al visualizarse en el software *Creality Slicer*, el primer diseño muestra claramente la estructura de las tapas y la disposición cónica de los orificios, ofreciendo una vista previa de cómo se verán los detalles y asegurando que las configuraciones de impresión se alineen con el diseño planeado

Como se muestra en la ilustración 53 del Primer Diseño en *Creality Slicer*

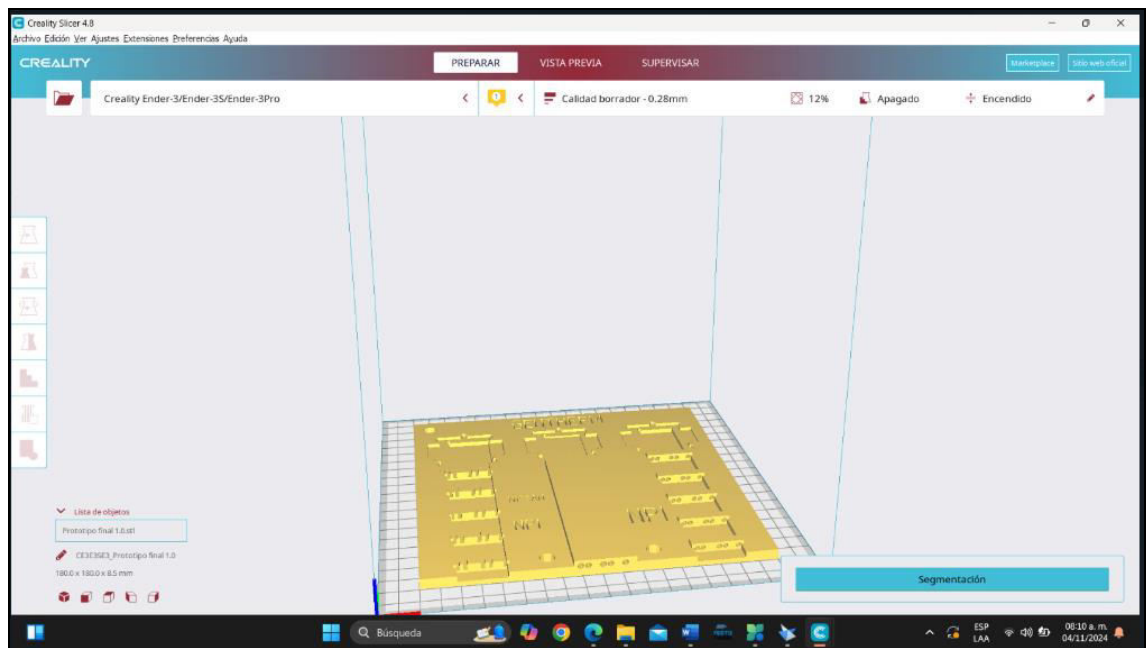


Ilustración 53 Primer Diseño En *Creality Slicer*
Fuente: Propia

Primer Diseño Impreso

El primer diseño impreso se basó en tres ideas preliminares esbozadas en papel, cada una con un enfoque distinto para facilitar la colocación de los cables en la PCB:

- **Diseño de Pinzas:** La primera propuesta incluía un sistema de pinzas que sujetara los cables para guiar su posición. Sin embargo, se determinó que esta opción podría no ofrecer la estabilidad necesaria durante el ensamblaje.
- **Estructura Cerrada con Orificios:** La segunda idea consistía en una estructura con orificios alineados, permitiendo que los cables se insertaran gradualmente en la PCB. Aunque esta propuesta tenía ventajas, existía el riesgo de que los cables se desplazaran durante el proceso de soldadura.
- **Orificios Cónicos con Tapas (Diseño Elegido):** La propuesta final se centró en orificios cónicos, diseñados para facilitar la entrada de los cables y asegurar su estabilidad al llegar a la PCB. Este diseño se completaba con tapas que evitaban el movimiento de los cables y protegían el material.

Este primer prototipo impreso utilizó la idea de los orificios cónicos con tapas, permitiendo probar su ajuste inicial y viabilidad. Como se muestra en la ilustración 54 del primer diseño impreso, el modelo refleja esta configuración básica, lo que permitió evaluar los primeros resultados en funcionalidad y ajuste antes de pasar a iteraciones posteriores.

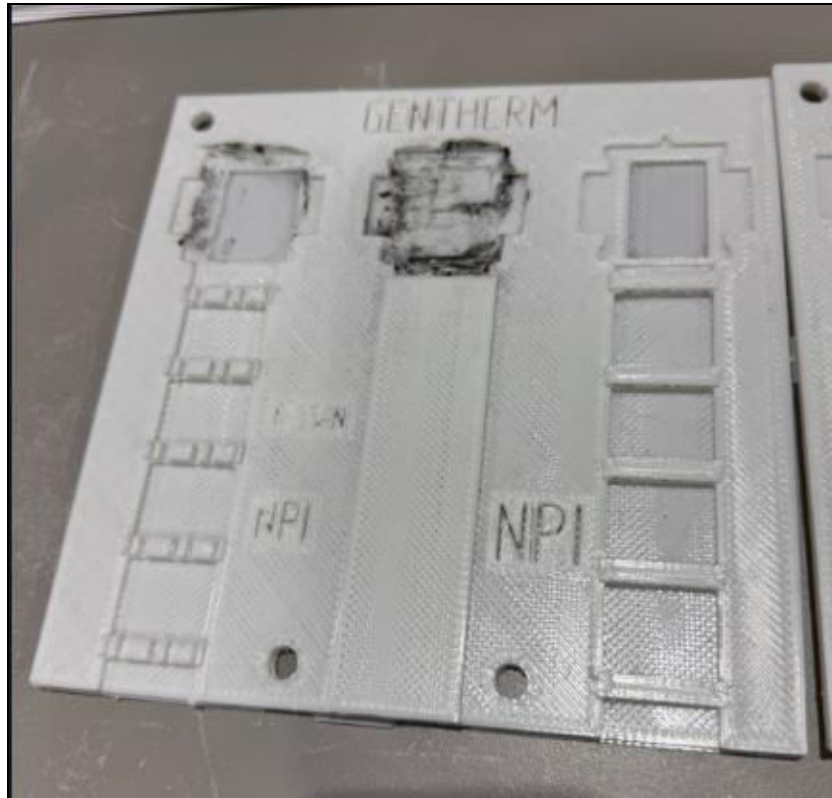


Ilustración 54 Primer Diseño Impreso
Fuente: Propia

Segundo Diseño en *Creality Slicer*

En el software *Creality Slicer*, se visualiza el segundo diseño ya con las configuraciones ajustadas, mostrando cómo quedará el prototipo impreso. La ilustración 55 en el software permitió confirmar las modificaciones aplicadas para mejorar el ajuste y funcionalidad del diseño.

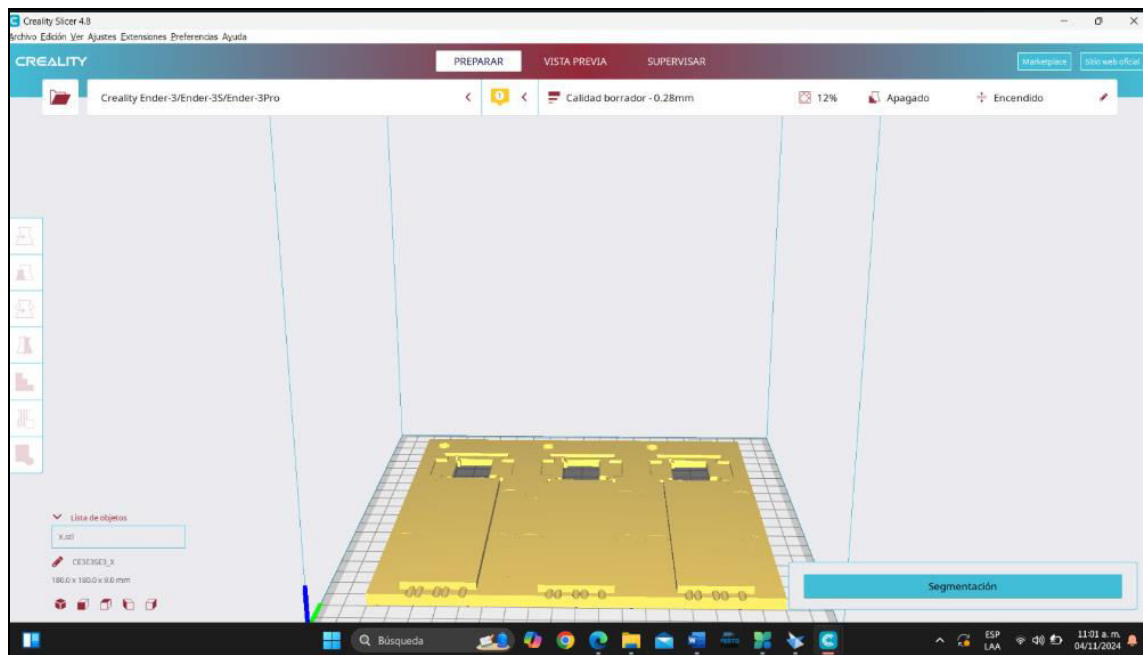


Ilustración 55 Segundo Diseño en Creality Slicer
Fuente: Propia

Este segundo prototipo se ajustó para evaluar el concepto de las tapas junto con la base que sostiene los cables en la placa de tres PCBs unidas, probando su protección y estabilidad durante el proceso de soldadura.

Así quedó impreso el segundo diseño como se muestra la ilustración 56.

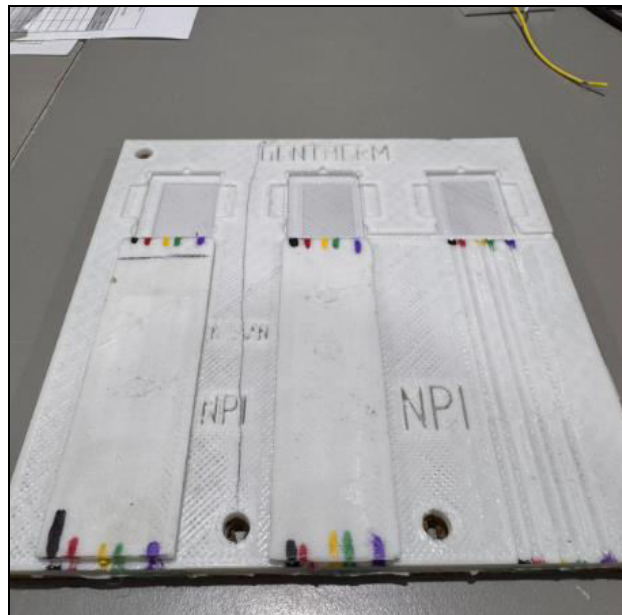


Ilustración 56 Segundo Diseño Imprimido
Fuente: Propia

Tercer Diseño en *Creality Slicer*

En *Creality Slicer*, el tercer diseño se visualiza con las configuraciones actualizadas para el ajuste de calidad y tamaño, mostrando cómo quedaría el modelo tras aplicar las mejoras en la estructura y el mango con imanes. La ilustración 57 da una vista previa en el software permitió prever el resultado impreso.

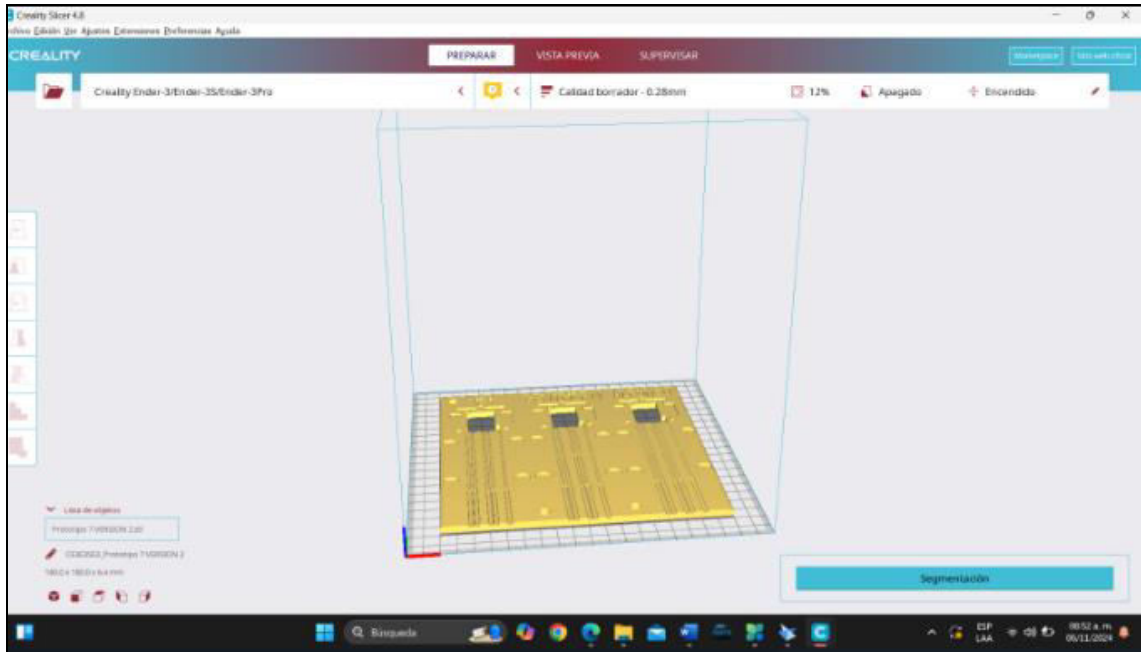


Ilustración 57 Tercer Diseño en *Creality Slicer*
Fuente: Propia

El tercer diseño mostró una versión actualizada de las tapas cónicas que fue esencial para mejorar la estabilidad de los cables en el herramental. En la ilustración 58 se aprecia cómo estas tapas fueron configuradas para brindar un ajuste firme sin dañar los cables, permitiendo visualizar el resultado anticipado antes de la impresión.

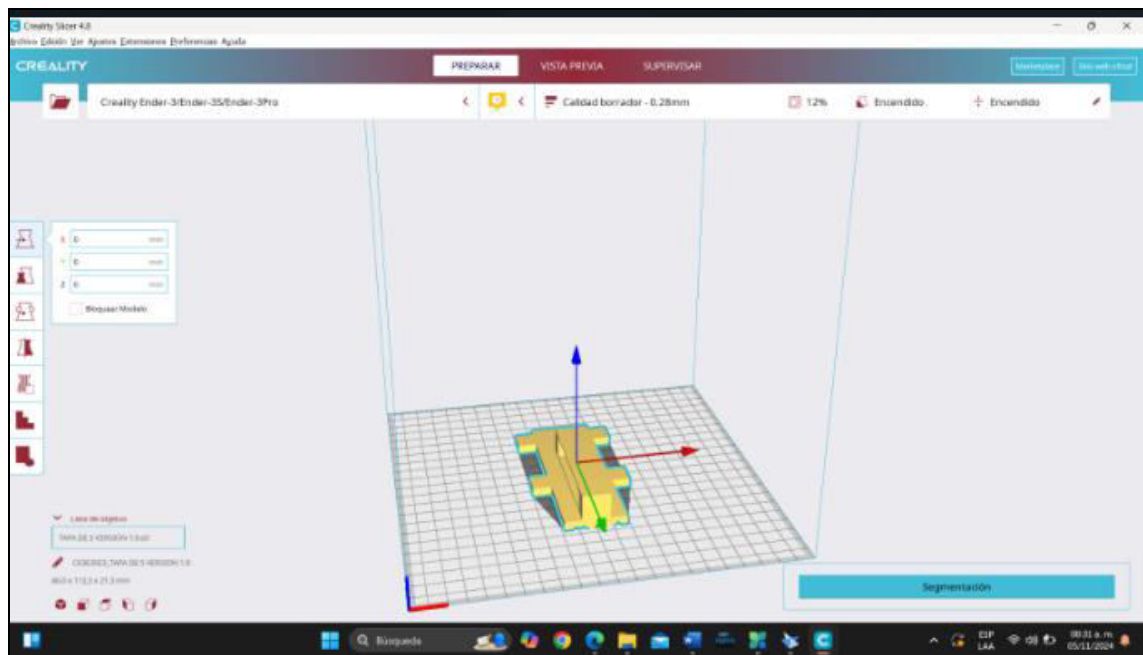


Ilustración 58 Diseño de tapas en *Creality Slicer*
Fuente: Propia

Tercer Diseño Impreso

Este tercer prototipo introduce el mango y los imanes en las tapas, y ajustes en la base para facilitar la alineación y acceso de los cables en la PCB. Durante las pruebas con la máquina de soldadura automatizada, se identificaron problemas en la distancia de los ejes **X** y **Z**, lo que afectó la precisión de soldadura de los cables. Además, se detectó un problema en la nivelación de la cama de impresión: el lado izquierdo imprimió correctamente, pero el otro lado quedó más bajo, causando que el prototipo se imprimiera desigualmente.

Así quedo impreso el tercer diseño como se muestra la ilustración 59.

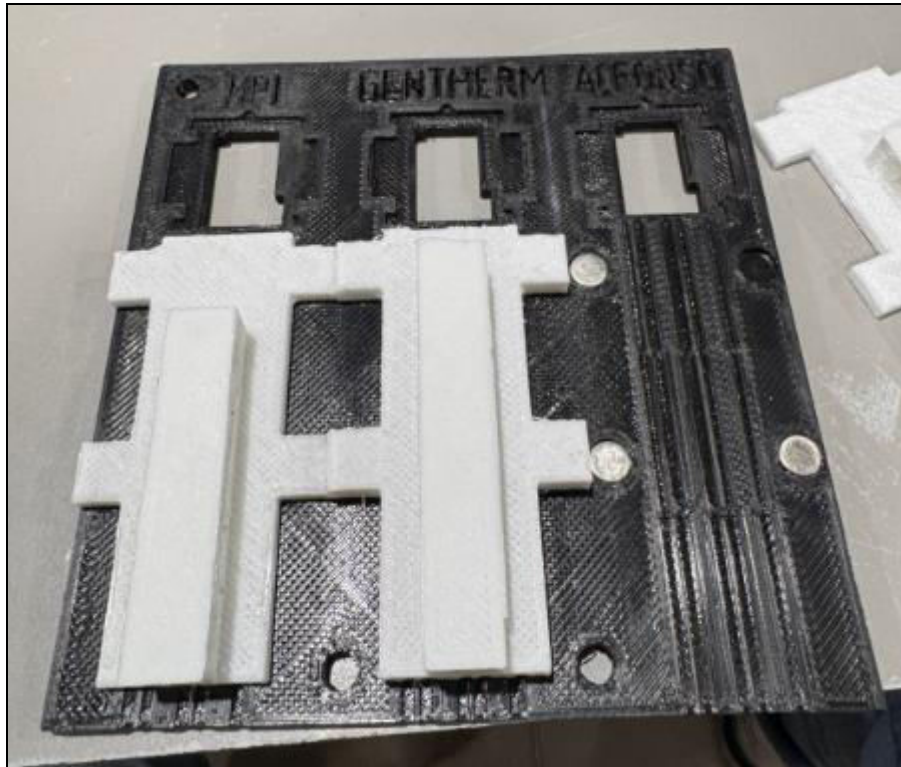


Ilustración 59 Tercer Diseño Imprimido
Fuente: Propia

Las tapas en este diseño fueron creadas con una forma cónica para facilitar el guiado y ajuste de los cables en las PCBs. Durante la prueba en la máquina de soldadura, se observó que, aunque el diseño de las tapas cumplía con la estabilidad de los cables, la calibración de la cama de impresión provocó un ligero desajuste en un lado, afectando la precisión en la colocación de los cables. Esta observación ayudó a definir la necesidad de ajustes adicionales para el siguiente diseño.

Así quedaron impresas las tapas en el tercer diseño como se muestra la ilustración 60.

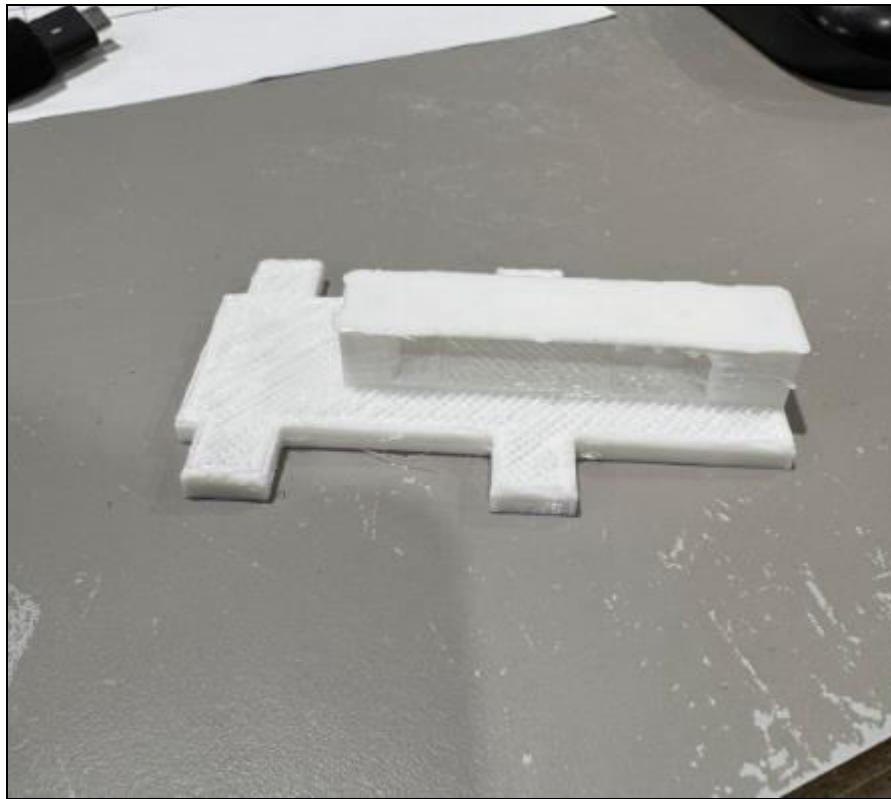


Ilustración 60 Diseño de las tapas Imprimido
Fuente: Propia

Cuarto Diseño en *Creality Slicer*

En *Creality Slicer*, el cuarto diseño se visualiza optimizado para una sola PCB, como se muestra en la ilustración del software. Esta vista previa permitió ajustar configuraciones clave, verificando cómo quedarían los detalles de nivelación y posición para la impresión final como se muestra en la ilustración 61.

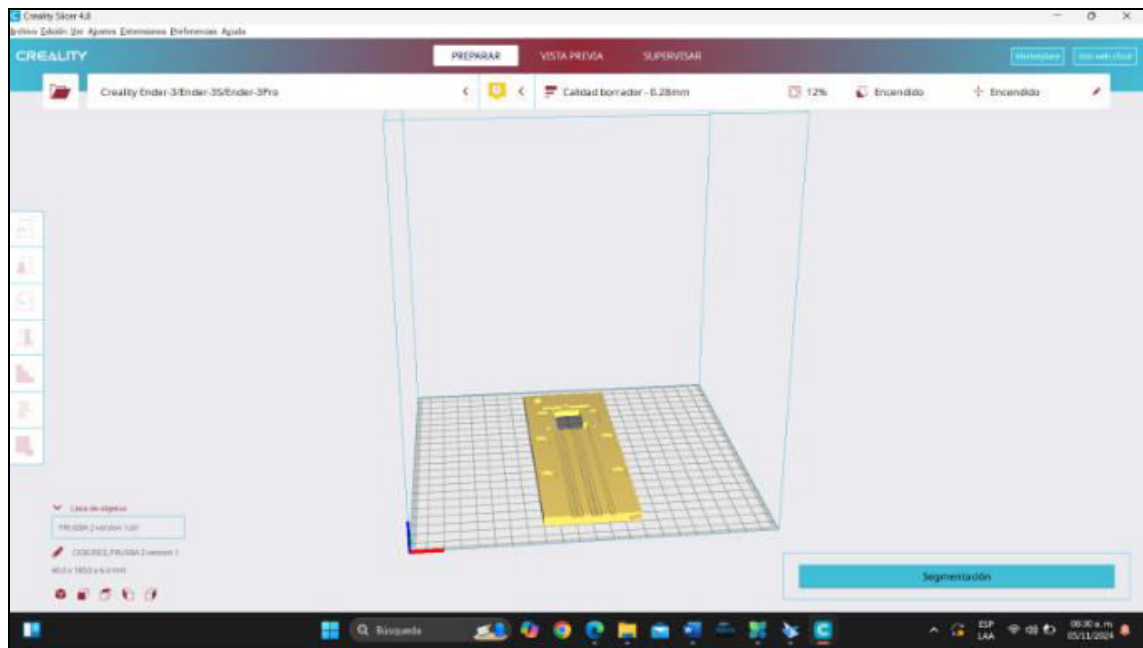


Ilustración 61 Cuarto Diseño en *Creality Slicer*
Fuente: Propia

Cuarto Diseño Impreso

Este cuarto prototipo se enfocó en resolver los problemas de nivelación de la cama de impresión y ajustar la precisión en la soldadura del robot. Al trabajar con una base para una sola PCB, se logró ahorrar material y optimizar el tiempo de impresión, evaluando cada punto de soldadura del robot en los ejes **X**, **Y**, **Z** para mejorar el alineado y el contacto del cable como se muestra en la ilustración 62.



Ilustración 62 Cuarto Diseño Imprimido
Fuente: Propia

En esta cuarta iteración, se implementaron ajustes significativos en el diseño para mejorar la precisión de soldadura del robot, tras los problemas identificados en el tercer diseño, se realizaron calibraciones en la herramienta, optimizando los ángulos y distancias en los ejes X y Z para alinear adecuadamente los cables con los puntos de soldadura en la PCB.

Este diseño permitió una colocación más exacta de los cables, facilitando el proceso de soldadura automática y garantizando que cada punto de soldadura se realizara en la posición correcta sin comprometer la integridad de los cables o de la PCB.

A continuación, se observa la ilustración 63 muestra el cuarto diseño implementado en la máquina de soldadura, con el proceso de soldadura de los cables a la PCB.

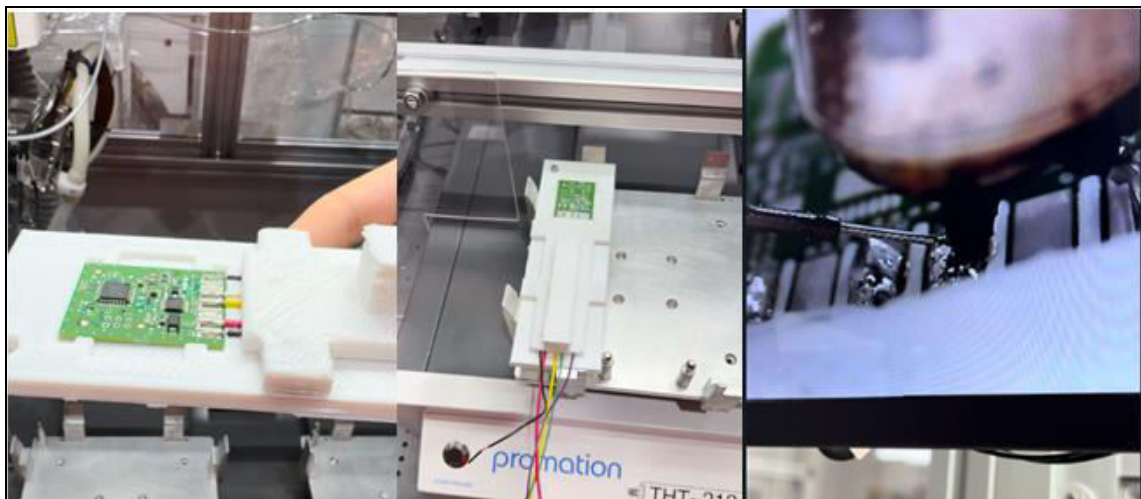


Ilustración 63 Soldadura de los cables a la PCB
Fuente: Propia

Diseño final

El último diseño del prototipo, se realizaron los ajustes finales basados en las observaciones, opiniones y pruebas de iteraciones previas. Este diseño integró las configuraciones óptimas de alineación y soporte de los cables, con mejoras en las tapas cónicas y en la estructura general del herramental para asegurar un ajuste preciso en la PCB. La adaptación en los puntos de sujeción y la alineación de los orificios cónicos permitieron una colocación más sencilla y

firme de los cables, optimizando tanto la manipulación por parte del operador como la precisión en el proceso de soldadura automatizado.

Proceso de Impresión del Último Diseño

Se puede observar el proceso de impresión del último diseño. A continuación, se describen los detalles clave durante cada fase de la impresión:

- **Primeras Capas de Impresión:** Las primeras capas se depositan con precisión, asegurando una base sólida y adherente para el resto de la estructura.
- **Altura de la Boquilla:** La distancia precisa de la boquilla respecto a la base asegura una aplicación uniforme del material, garantizando la calidad y exactitud de las capas iniciales.
- **Patrón de Relleno:** Con un relleno del 12%, el diseño proporciona una estructura interna duradera sin sobrecargar el tiempo de impresión ni el material.
- **Finalización de la Impresión:** Al concluir la impresión, la impresora automáticamente desplaza la placa hacia el frente, facilitando el retiro del modelo. El tiempo total de impresión fue de 6 horas y 1 minuto con la boquilla de 1.0.

La siguiente ilustración 64 reflejan la exactitud y los parámetros configurados para lograr una impresión de alta calidad, lista para su uso en el entorno de producción.



Ilustración 64 Proceso de Impresión del Último Diseño
Fuente: Propia

Aquí se muestra la ilustración 65 representación visual del diseño final en Creality Slicer, seguida de imágenes del prototipo impreso y listo para su uso en producción:

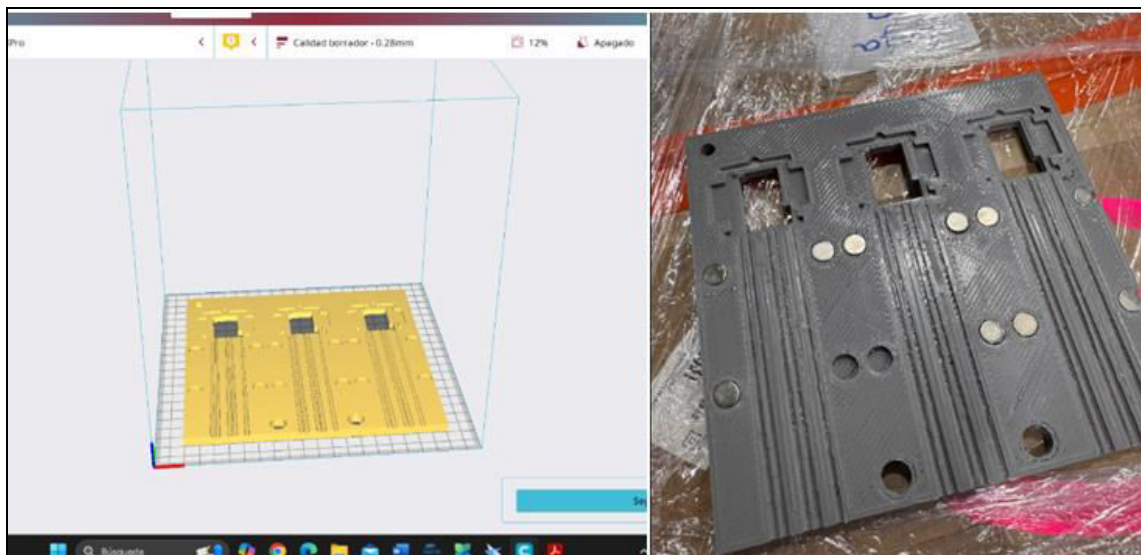


Ilustración 65 Diseño final impreso
Fuente: Propia

Último Diseño: Validación Final y Aprobación

En este diseño final, se lograron los resultados esperados en el proceso de soldadura, con una precisión que cumple los estándares de calidad. Las mejoras implementadas en la alineación de los orificios y en la sujeción de los cables permitieron una colocación estable, facilitando el trabajo del robot de soldadura y garantizando una fijación adecuada sin errores de posición en X y Z.

Después de varias pruebas exitosas, el equipo de calidad ha validado el prototipo final, aprobándolo para iniciar la fase de pruebas de producción con los operadores. Este diseño también ha sido aprobado para capacitación, lo que permite instruir a los operadores en su uso y contribuir a una integración fluida en la línea de producción.

A continuación, se muestra la ilustración 66 del prototipo final aprobado y listo para su implementación:

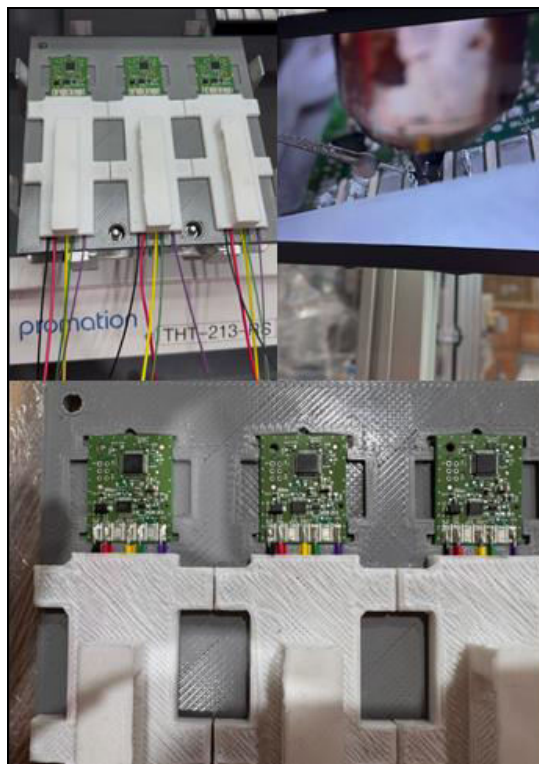


Ilustración 66 Prototipo final aprobado
Fuente: Propia

5.4 Objetivo 4. Implementación piloto

Preparación de la línea de producción

Una de las actividades iniciales fue la preparación de la línea de producción. Se prepararon dos herramentales con sus respectivas tapas, asegurando que estuvieran en condiciones óptimas para su uso en el proceso. Antes de proceder con la implementación, se llevó a cabo un proceso de validación con los ingenieros clave de la planta: primero con los ingenieros de calidad, después con el ingeniero de manufactura y, por último, con el ingeniero industrial. Este paso fue esencial para garantizar que el prototipo cumpliera con los estándares técnicos, de calidad y de funcionalidad necesarios para su aprobación en producción.

Como se muestra en la ilustración 67 esta etapa es crucial para asegurar que el nuevo diseño no solo cumpla con los objetivos de producción y ergonomía, sino también con los estándares de calidad requeridos por la empresa.



Ilustración 67 Preparación de la línea de producción
Fuente: Propia

Ayuda visual

Como se muestra la ilustración 68 se añadieron colores a los tubos cónicos del herramental para facilitar la identificación de posiciones por parte de los operadores durante la colocación de cables. Cada tubo fue marcado con un color específico, lo que permitió reducir errores, agilizar el proceso y mejorar la experiencia operativa. Los colores seleccionados fueron llamativos y

resistentes al desgaste, garantizando su funcionalidad a largo plazo y mejorando tanto la precisión como la eficiencia en el trabajo.

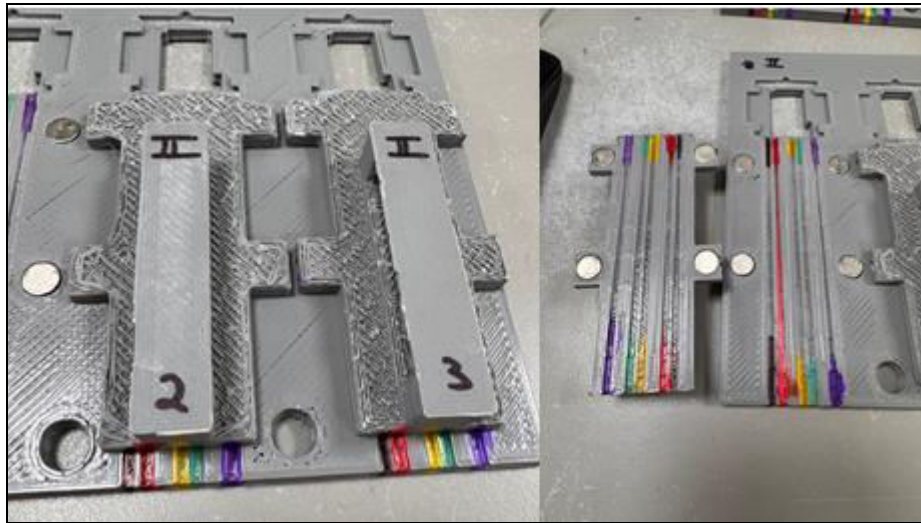


Ilustración 68 Ayuda visual
Fuente: Propia

Entrenar a los operadores en el uso del nuevo herramental

Como parte de la implementación del nuevo herramental, se entrenó al operador encargado de la línea de producción donde se realizarán las pruebas piloto.

Este operador, además de aprender el uso correcto del nuevo herramental, tendrá la responsabilidad de transmitir el conocimiento adquirido a sus compañeros de línea.

Durante el entrenamiento, se explicó detalladamente cómo usar el nuevo herramental, destacando sus nuevas funcionalidades, como las mejoras ergonómicas y su diseño optimizado para facilitar la colocación de los cables en las PCBs. Asimismo, se abordaron las siguientes instrucciones clave:

1. Manipulación Correcta: Cómo sujetar y posicionar el herramental de manera eficiente para evitar errores durante la operación.
2. Seguridad: Las precauciones a tener en cuenta al utilizar las tapas y los imanes para evitar lesiones o posibles daños a los cables.
3. Ventajas del Nuevo Diseño: Se enfatizó la reducción del esfuerzo físico requerido, comparado con el herramental anterior, y cómo esto contribuirá a una mayor comodidad y productividad.

4. Procedimiento Estandarizado: Los pasos exactos para colocar las PCBs y los cables, asegurando consistencia en el proceso.

El operador encargado tuvo la oportunidad de practicar con el nuevo herramental bajo supervisión, lo que permitió resolver dudas en tiempo real y garantizar su dominio sobre el mismo antes de comenzar el entrenamiento de sus compañeros.

Este enfoque asegura que la transición al nuevo herramental sea fluida y que todos los operadores de la línea estén capacitados para utilizarlo correctamente, maximizando los beneficios de su implementación como se muestra la ilustración 69.



Ilustración 69 Entrenamiento
Fuente: Propia

Ergonomía

La ergonomía es una disciplina que busca adaptar las condiciones de trabajo a las capacidades y limitaciones del operador, reduciendo riesgos de lesiones y mejorando la eficiencia. En el caso del proceso actual de colocación de cables en PCBs, la falta de una correcta ergonomía se identificó una serie de problemas físicos y de productividad para los operadores.

Durante el proceso, los operadores realizan movimientos repetitivos y adoptan posturas que no son neutrales ni cómodas para sus articulaciones, en especial para muñecas y dedos. La actividad de sujetar y posicionar los cables requiere el uso de fuerza y precisión, generando un impacto directo en estas áreas del cuerpo.

Riesgos Ergonómicos Identificados:

1. Esfuerzo repetitivo y presión en los dedos: La necesidad de sujetar y ajustar los cables en posiciones forzadas aumenta el riesgo de molestias y lesiones en las manos y dedos, como tendinitis o síndrome de túnel carpiano, dado el movimiento repetitivo y la presión ejercida en los tendones.
2. Movimientos de pinza y fuerza en las muñecas: El retiro de la placa metálica con imanes, después de la soldadura, implica usar los dedos en forma de pinza y aplicar fuerza, lo cual puede sobrecargar los músculos y articulaciones de las muñecas. Además, si los operadores no logran levantar la placa manualmente, suelen utilizar pinzas de metal, lo que incrementa la posibilidad de daño en el herramental y aumenta el esfuerzo requerido, afectando aún más las muñecas.
3. Posiciones incómodas y carga estática: Al colocar los cables y ajustar la placa metálica, los operadores adoptan posturas que no permiten el descanso de los músculos, generando una carga estática que puede llevar a fatiga muscular. Este tipo de carga estática es un factor de riesgo ergonómico, ya que exige mantener las muñecas en posiciones incómodas y con una carga constante durante el tiempo de trabajo.
4. Impacto en la Productividad y el Bienestar: Los resultados de la encuesta muestran que los operadores perciben el proceso como

incómodo y demandante en términos de esfuerzo y tiempo. La incomodidad y el esfuerzo necesarios afectan no solo su bienestar, sino también su productividad. La falta de una adecuada ergonomía en el diseño del herramental actual no solo incrementa el riesgo de lesiones musculoesqueléticas, sino que también puede llevar a una reducción en la calidad y eficiencia del trabajo.

***Checklist* (Basado en la metodología RULA)**

La metodología RULA no se aplicó por completo en este análisis, ya que requería evaluar partes del cuerpo que no eran el foco principal de este estudio. En su lugar, se optó por un *checklist* centrado en las muñecas y manos de los operadores. Este *checklist* fue utilizado con el objetivo de identificar y evaluar los posibles riesgos ergonómicos relacionados con el uso del herramental en el proceso de colocación de cables en las PCBs.

El checklist se centró en observar posturas y movimientos que pudieran causar tensión o incomodidad, específicamente en las muñecas y manos. Las preguntas incluyeron evaluaciones sobre flexión o extensión excesiva de las muñecas, desviación cubital, la necesidad de aplicar presión excesiva con los dedos y la frecuencia de movimientos repetitivos. Además, se evaluaron los esfuerzos adicionales realizados por los operadores al manipular los cables y las placas metálicas, para identificar posibles riesgos de trastornos musculoesqueléticos.

Para la recolección de datos, se observó al líder de la línea de producción durante el uso del herramental actual y, en algunos casos, se le preguntó directamente sobre su experiencia, lo que permitió obtener una comprensión más detallada de las posturas y molestias que experimenta durante el proceso. Como se muestra en la tabla 9, el *checklist* indicó que el 76.92% de las respuestas fueron afirmativas, lo que refleja que el herramental actual está generando riesgos ergonómicos significativos. Este alto porcentaje muestra que el diseño del herramental es muy agresivo para las muñecas y manos de los operadores.

Tabla 9 Checklist de la herramental actual

	Evaluación de Preparación del herramental y colocación de PCBs			
	Preguntas	Si	No	
1	¿Existe flexión o extensión de la muñeca mayor a 15°?	X		
2	¿Se requiere desviar la muñeca hacia un lado (desviación cubital/radial)?	X		
3	¿Los dedos realizan fuerza o presión significativa para fijar las PCBs?		X	
	Evaluación de Colocación de cables en la PCB			
	Preguntas	Si	No	
1	¿La muñeca se encuentra en pronación o supinación extrema?	X		
2	¿La postura de la muñeca causa incomodidad o tensión en los operadores?	X		
3	¿Los dedos necesitan realizar movimientos repetitivos en un periodo corto?	X		
4	¿Se requiere aplicar fuerza para estabilizar los cables con una mano?		X	
	Evaluación de Aplicación de la placa metálica con imanes			
	Preguntas	Si	No	
1	¿La muñeca adopta una postura incómoda para ajustar los cables?	X		
2	¿Se requiere ejercer presión excesiva con los dedos para ajustar los cables?		X	
3	¿El operador realiza esfuerzo adicional con los dedos para colocar la placa?	X		
	Evaluación de Retiro de la placa metálica tras la soldadura			
	Preguntas	Si	No	
1	¿Se necesita esfuerzo considerable con los dedos para retirar la placa metálica?	X		
2	¿La presión ejercida con los dedos causa molestias o dolor en el operador?	X		
3	¿Los operadores recurren a herramientas adicionales para levantar la placa?	X		
	Porcentaje: 100%	76.92%	23.08%	

Fuente: Propia

Checklist del Nuevo Herramental

Al implementar el nuevo herramental en la línea de producción, se utilizó el mismo *checklist* adaptado para evaluar los riesgos en las muñecas y manos del líder de la línea. Este *checklist* permitió medir la frecuencia y la magnitud de las posturas forzadas, los movimientos repetitivos y el esfuerzo físico durante la manipulación del prototipo.

El análisis detallado de los resultados del *checklist* evidencia que el nuevo herramental generó una mejora significativa en las condiciones ergonómicas de los operadores, minimizando los riesgos asociados a posturas inadecuadas y esfuerzos físicos. Aunque se identificaron áreas con oportunidad de mejora, el porcentaje predominante de resultados positivos respalda la efectividad del diseño y su impacto en la ergonomía laboral, como se muestra la tabla 10.

Tabla 10 Checklist del Nuevo Herramental

Evaluación de Preparación del herramental y colocación de PCBs			
Preguntas		Si	No
1	¿Existe flexión o extensión de la muñeca mayor a 15°?		X
2	¿Se requiere desviar la muñeca hacia un lado (desviación cubital/radial)?		X
3	¿Los dedos realizan fuerza o presión significativa para fijar las PCBs?		X
Evaluación de Colocación de cables en la PCB			
Preguntas		Si	No
1	¿La muñeca se encuentra en pronación o supinación extrema?		X
2	¿La postura de la muñeca causa incomodidad o tensión en los operadores?		X
3	¿Los dedos necesitan realizar movimientos repetitivos en un periodo corto?	X	
4	¿Se requiere aplicar fuerza para estabilizar los cables con una mano?		X
Evaluación de Aplicación de la placa metálica con imanes			
Preguntas		Si	No
1	¿La muñeca adopta una postura incómoda para ajustar los cables?		X
2	¿Se requiere ejercer presión excesiva con los dedos para ajustar los cables?	X	
3	¿El operador realiza esfuerzo adicional con los dedos para colocar la placa?		X
Evaluación de Retiro de la placa metálica tras la soldadura			
Preguntas		Si	No
1	¿Se necesita esfuerzo considerable con los dedos para retirar la placa metálica?		X
2	¿La presión ejercida con los dedos causa molestias o dolor en el operador?		X
3	¿Los operadores recurren a herramientas adicionales para levantar la placa?		X
Porcentaje: 100%		15.38%	84.62%

Fuente: Propia

Porcentaje de áreas con oportunidad de mejora: El 15.38% de las observaciones mostraron que aún existían aspectos a mejorar, aunque estas situaciones eran esporádicas y no representaban riesgos críticos. Estas

observaciones fueron principalmente en tareas donde los operadores ajustaban las tapas del herramental o manipulaban los imanes.

Porcentaje de cumplimiento positivo: El 84.62% de las evaluaciones indicaron que las posturas observadas con el nuevo herramental no presentaban riesgos ergonómicos significativos. Esto representa una mejora sustancial en comparación con el herramental anterior, donde las posturas forzadas eran recurrentes y contribuían a molestias físicas en los operadores.

Descripción del impacto:

Disminución de posturas forzadas: Gracias al diseño ergonómico del nuevo herramental, los operadores pudieron mantener las muñecas en una postura más neutral, con menor flexión, desviación cubital y pronación extrema.

Reducción de molestias físicas: En las entrevistas realizadas tras la implementación, los operadores mencionaron una reducción significativa en las molestias asociadas al uso del herramental, indicando que el diseño optimizado disminuyó el esfuerzo necesario para realizar sus tareas.

Incremento en la eficiencia operativa: Al reducirse los movimientos forzados y repetitivos, los operadores pudieron completar sus actividades con mayor comodidad y menor fatiga, lo cual impactó positivamente en el tiempo de ciclo del proceso.

Validación de mejoras ergonómicas: El alto porcentaje de resultados positivos confirma que los ajustes realizados en el diseño, como la forma de los mangos y la incorporación de tapas ajustables, cumplieron con su propósito de mejorar las condiciones laborales como se muestra en la ilustración 70.



Ilustración 70 Reducción de molestias físicas
Fuente: Propia

Introducir el herramental en la línea de producción y monitorear el proceso

Después de completar el entrenamiento del operador encargado, se procedió a implementar el nuevo herramental en la línea de producción. Durante esta fase, se realizaron pruebas supervisadas en las que estuvieron presentes los ingenieros de calidad, manufactura e industrial para garantizar que el prototipo cumpliera con los requisitos establecidos.

Las actividades realizadas incluyeron:

1. Verificación Inicial del Herramental: Antes de su uso, los ingenieros inspeccionaron que las tapas y los imanes estuvieran correctamente colocados y que el herramental no presentara defectos.
2. Pruebas en Condiciones Reales: El operador entrenado utilizó el nuevo herramental en un entorno de producción real, colocando las PCBs y los cables siguiendo el procedimiento estándar. Se observó el desempeño del herramental en relación con los tiempos de ciclo, la precisión en la colocación y la facilidad de uso.
3. Evaluación del Impacto en la PCB y la Máquina: Los ingenieros verificaron que el uso del herramental no generara daños ni en las PCBs ni en la máquina de soldar, garantizando que el diseño fuese seguro para ambos componentes.

Durante el monitoreo, también se recopilaron observaciones del operador, tales como su nivel de comodidad y la percepción de la funcionalidad del nuevo

diseño. Adicionalmente, se documentaron las primeras métricas de desempeño, como el tiempo promedio por operación, para compararlas con los tiempos previos al uso del nuevo herramental.

Una vez finalizadas las pruebas del prototipo, los ingenieros de manufactura, calidad e industrial participaron en una revisión exhaustiva. Tras evaluar el desempeño del prototipo en condiciones reales de trabajo, los ingenieros aprobaron formalmente el diseño, destacando que cumplía con los estándares de calidad y funcionalidad requeridos. Con esta validación, se autorizó la fabricación del herramental en material definitivo para su integración a largo plazo en la línea de producción. La siguiente ilustración 70 muestra el prototipo final aprobado.



Ilustración 71 Aprobación
Fuente: Propia

Este proceso permitió una transición segura y controlada hacia el uso del nuevo diseño, asegurando su funcionalidad y fiabilidad antes de la implementación completa.

Verificar la funcionalidad completa del prototipo en el proceso de producción

Después de implementar el herramental en la línea de producción, se procedió a evaluar su funcionalidad en todas las etapas posteriores para

garantizar que cumple con los estándares de calidad. Una vez que las PCBs y cables son procesados en la máquina de soldar, se trasladan a la estación de EOL (End Of Line).

En esta etapa, los operadores colocan las PCBs con los cables soldados en la estación EOL, donde se realizan las siguientes verificaciones:

1. Integridad de las PCBs: Se inspecciona visualmente y mediante herramientas específicas que las PCBs no presenten daños físicos, como deformaciones o marcas causadas por el herramental o el proceso de soldadura.
2. Conexiones de los cables: Se verifica que los cables estén correctamente soldados y alineados en las posiciones adecuadas, asegurando la continuidad eléctrica y funcionalidad de las conexiones.
3. Pruebas funcionales: La estación EOL realiza pruebas automatizadas para evaluar la funcionalidad de los circuitos y garantizar que todos los puntos de conexión cumplen con los requisitos del diseño.

Una característica adicional de esta etapa es que, cuando la EOL valida que las piezas cumplen con los estándares de calidad, aplica una **marca testigo** (circulo verde) que indica que el producto pasó las pruebas exitosamente. Además, la pantalla de la estación muestra en tiempo real el estado de cada pieza procesada, señalando si obtuvo un "pase" o si presenta algún defecto. En el caso de las pruebas realizadas con el nuevo prototipo, todas las piezas procesadas pasaron exitosamente las evaluaciones como se muestra la ilustración 72.



Ilustración 72 Prueba inicial
Fuente: Propia

Proceso de Moldeo por Inyección para Encapsular las PCBs y Cables

Después de que las PCBs y cables pasan exitosamente la estación EOL, se trasladan a la prensa de moldeo por inyección, donde se encapsulan con polipropileno. Este material protege las PCBs y los cables al proporcionar aislamiento eléctrico y resistencia mecánica.

- **Preparación y colocación:** El polipropileno es fundido en el husillo de la máquina y las PCBs se colocan en un molde diseñado para encapsular las áreas críticas sin dañar los componentes.
- **Inyección y enfriamiento:** El material fundido se inyecta a alta presión, asegurando un recubrimiento uniforme. Posteriormente, el molde se enfría para solidificar el encapsulado.
- **Extracción e inspección:** La pieza encapsulada se retira del molde y se inspecciona para verificar que el encapsulado sea uniforme, sin defectos y que la funcionalidad eléctrica no haya sido comprometida.

Como se muestra la ilustración 73 este proceso garantiza que el producto cumpla con los estándares de calidad y durabilidad requeridos para aplicaciones automotrices.

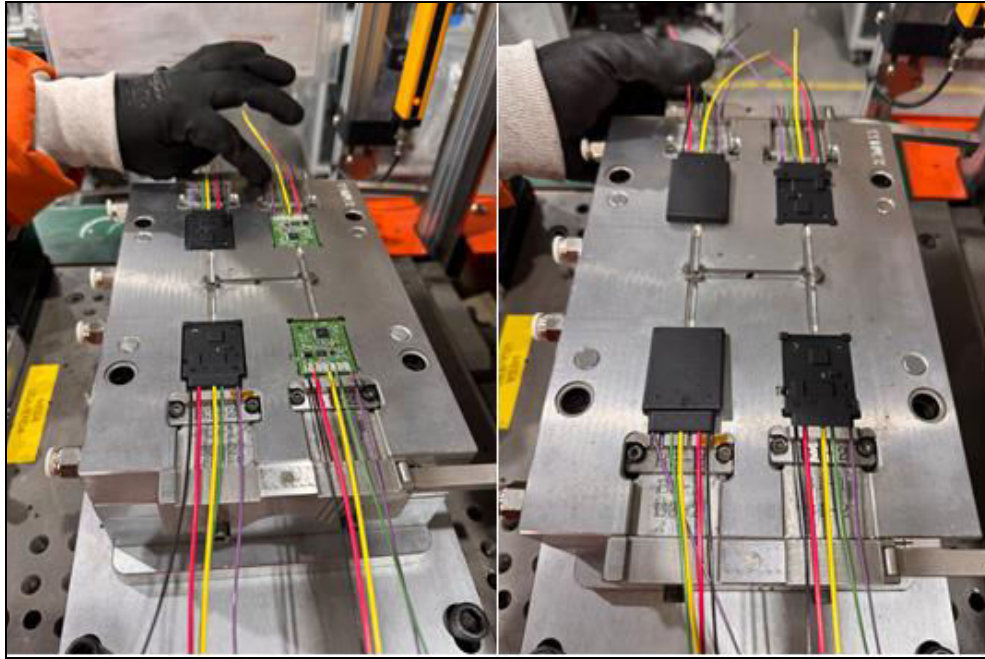


Ilustración 73 Moldeo
Fuente: Propia

Verificación Final en EOL Después del Moldeo

Una vez que las PCBs encapsuladas pasan por el proceso de moldeo por inyección, se trasladan nuevamente a una estación **EOL** (End of Line) para una última revisión. En esta etapa, se realiza una verificación completa para asegurar que ningún componente haya sido dañado durante el proceso de inyección, especialmente los aspectos electrónicos y funcionales.

- **Inspección de integridad funcional:** Los operadores realizan pruebas para garantizar que el software, los componentes electrónicos y los circuitos no hayan sufrido alteraciones o daños durante el moldeo.
- **Pruebas de calidad:** La EOL realiza una evaluación final de todos los parámetros de calidad, verificando que la PCB esté correctamente funcional y que no se hayan introducido fallas debido al proceso de encapsulado.
- **Marcado de piezas aprobadas:** Si el producto supera todas las pruebas, se imprime una etiqueta que debe ser escaneada para confirmar que la pieza ha pasado el proceso sin fallas. Después de

escanear la etiqueta, se realiza el marcado testigo en la parte posterior de la pieza, indicando que ha pasado la inspección final.

- **Empaque y envío a calidad:** Las piezas aprobadas se empaquetan y son enviadas al área de calidad, donde se realiza una última revisión antes de su distribución. El proceso asegura que cada pieza esté lista para su uso final y que cumpla con los estándares de calidad requeridos.

Este proceso garantiza que el prototipo sea completamente funcional y esté listo para su uso en la industria automotriz, manteniendo altos estándares de fiabilidad y calidad como se muestra la ilustración 74.



Ilustración 74 Prueba final

Fuente: Propia

Estudio de tiempo

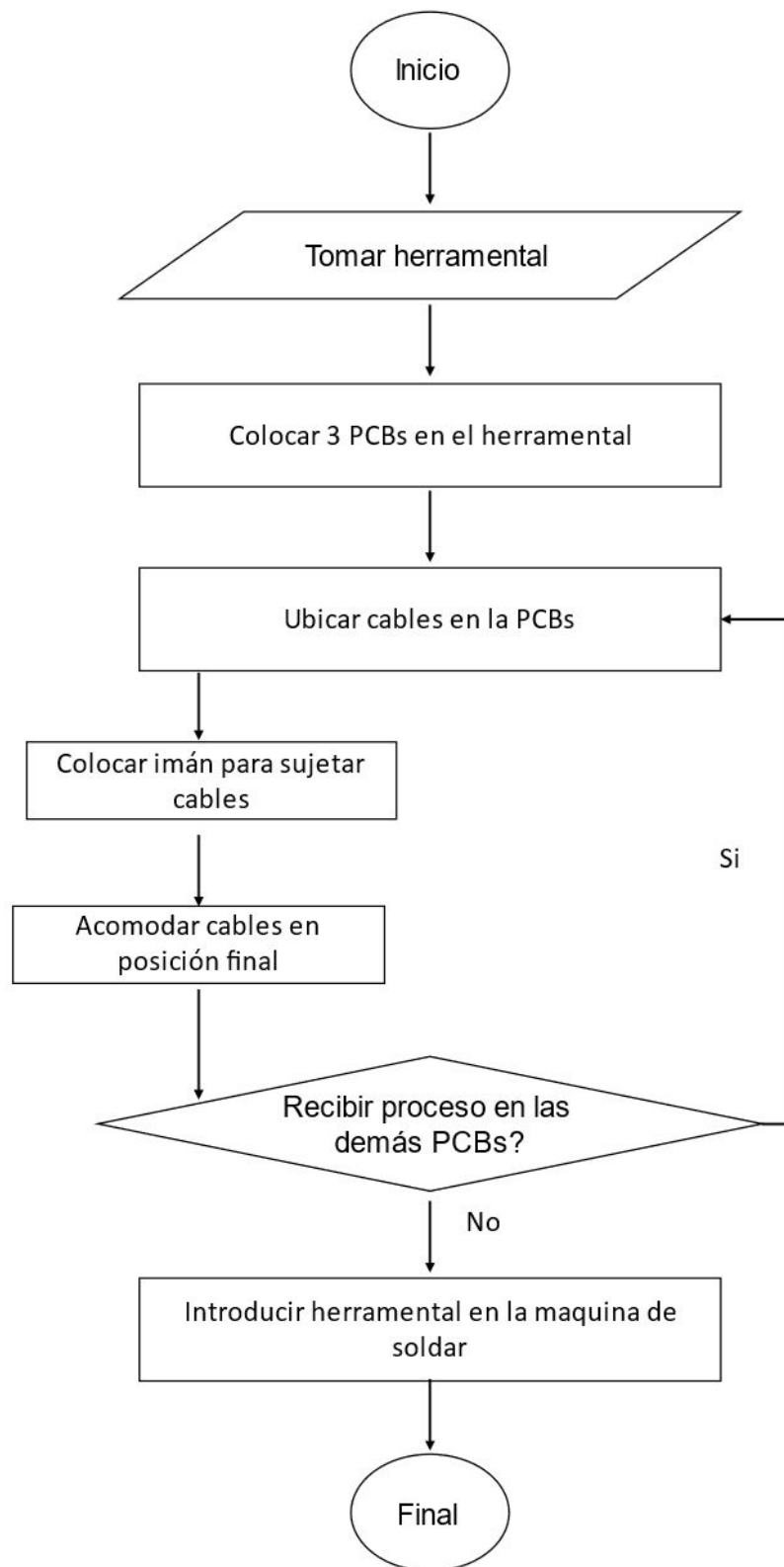
Para evaluar el impacto del nuevo diseño de herramental en el proceso de colocación de cables, el estudio de tiempos se realizó utilizando el formato de Excel ya establecido por la empresa. Este documento contiene las actividades específicas previamente asignadas para el proceso, así como los tiempos estándar que sirven de referencia para medir la eficiencia.

La empresa define un tamaño de muestra mínimo de 15 repeticiones por actividad, lo que asegura una representación estadísticamente válida de las condiciones actuales de producción.

En este proyecto, se realizó un **estudio de tiempos con cronómetro**, complementado por el formato establecido por la empresa para el registro de actividades y resultados. Este enfoque permitió analizar las actividades clave del proceso de colocación de cables y evaluar el impacto del nuevo diseño de herramental.

Diagrama de flujo

El diagrama de flujo de este proyecto se ha diseñado para representar de manera clara y detallada las etapas y actividades involucradas en el proceso de colocación de cables en las PCBs con el nuevo diseño de herramental. Este diagrama busca facilitar la visualización del proceso, identificar los puntos de mejora, y ofrecer una comprensión detallada de las interacciones entre las distintas fases de trabajo, desde la preparación hasta la finalización del ensamblaje. A través de este diagrama, se pretende mejorar la eficiencia del proceso, reducir tiempos y minimizar los riesgos ergonómicos que enfrentan los operadores.



Parámetros del Estudio de Tiempos

- Tamaño de muestra: 15 repeticiones por actividad.

- Tolerancia asignada: 15%, considerando las variaciones naturales en el desempeño de los operadores.
- Método de medición: Cronómetro electrónico para asegurar precisión.

Resultado del estudio de tiempo actual

El cálculo del **tiempo estándar** se realizó a partir de los datos de los ciclos de las actividades obtenidos durante el **estudio de tiempos**, tomando en cuenta que el tamaño de muestra son 15 y las tolerancias es de 15%, ya están definidos previamente en el formato utilizado por la empresa.

Se cronometrarón y registraron los tiempos de cada ciclo de las actividades involucradas en el proceso, siguiendo el procedimiento estándar de medición adoptado por la empresa.

Una vez que se recopilaron los datos de los ciclos, se calculó el **tiempo promedio** de cada actividad sumando todos los tiempos registrados Como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11 Tiempo de ciclo herramental actual

No.	Tiempo para un ciclo
1	287 segundos
2	322 segundos
3	253 segundos
4	317 segundos
5	298 segundos
6	259 segundos
7	243 segundos
8	299 segundos
9	331 segundos
10	291 segundos
11	280 segundos
12	304 segundos
13	298 segundos
14	292 segundos
15	286 segundos
Sumatoria	4360 segundos

Fuente: Propia

Para calcular el tiempo estándar del proceso, se utilizó la siguiente fórmula:

$$Tt = Tn (1 + \text{tolerancias})$$

- Tt: Tiempo estándar.
- Tn: Tiempo normal, obtenido del promedio de los tiempos observados ajustados por el factor de calificación.
- Tolerancias: Porcentaje asignado para compensar pausas, retrasos y fatiga del operador.

En este caso, se realizó la suma de todos los tiempos observados de las actividades, dando como resultado una **sumatoria total de 4360 segundos**.

Se realizo la siguiente formula

$$Tt = 4360(1 + 0.15) = 5014 \text{ segundos.}$$

- Tiempo Promedio Total del Proceso Actual: **5014 segundos**.
- Tiempos Estándar por Actividad: Comparados con los tiempos estándar establecidos, las actividades con mayores oportunidades de mejora fueron "colocar los cables" y "retirar el imán", debido a las dificultades ergonómicas que enfrentan los operadores como se muestra la ilustración 75.

Diagrama de flujo de actividades la empresa ya tiene las actividades y nos basamos para hacer un diagrama de flujo

Time study sheet				OPERATION: Plásticos DATE: 15/11/2024 PROGRAM: Ensamble de 5 cables TIME START: 09:00 a. m. PART#: 16026163A TIME END: 11:30 a. m.															
No.	Cantidad de piezas	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	3	Preparacion del herramental	2	3	2	2	3	3	3	3	4	5	4	3	4	3	4		
2	3	Colocacion de PCBs	14	8	7	12	6	4	4	10	10	10	8	9	8	10	6		
1 PCBs																			
3	1	Colocar los cables	39	50	35	45	50	40	36	46	42	37	43	34	38	45	34		
4	1	Colocacion de iman	14	15	3	6	12	10	8	10	18	14	16	15	20	12	14		
5	1	Ajuste del cableado	31	15	8	15	20	9	13	23	19	15	12	22	19	20	23		
2 PCBs																			
6	1	Colocar los cables	35	42	33	47	40	30	40	40	36	31	34	37	34	33	34		
7	1	Colocacion de iman	15	17	10	16	14	11	14	13	20	9	12	17	12	13	15		
8	1	Ajuste del cableado	18	14	25	25	15	23	10	10	25	13	20	24	23	21	16		
3 PCBs																			
9	1	Colocar los cables	20	40	20	43	38	30	20	38	45	44	29	35	32	30	41		
10	1	Colocacion de iman	6	16	8	12	9	5	7	7	20	15	14	16	13	11	9		
11	1	Ajuste del cableado	21	31	29	22	18	23	18	26	20	25	16	21	23	23	17		
12	3	Insercion en maquina de soldadura	72	71	73	72	73	71	70	73	72	73	72	71	72	71	73		
Tiempo para un ciclo			287	322	253	317	298	259	243	299	331	291	280	304	298	292	286		
Tolerancia			15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15		
Tiempo estandar			330.05	370.3	290.95	364.55	342.7	297.85	279.45	343.85	380.65	334.65	322	349.6	342.7	335.8	328.9		
Tiempo por pieza			110.02	123.43	96.98	121.52	114.23	99.28	93.15	114.62	126.88	111.55	107.33	116.53	114.23	111.93	109.63		
Sumatoria de tiempo estandar			5014																

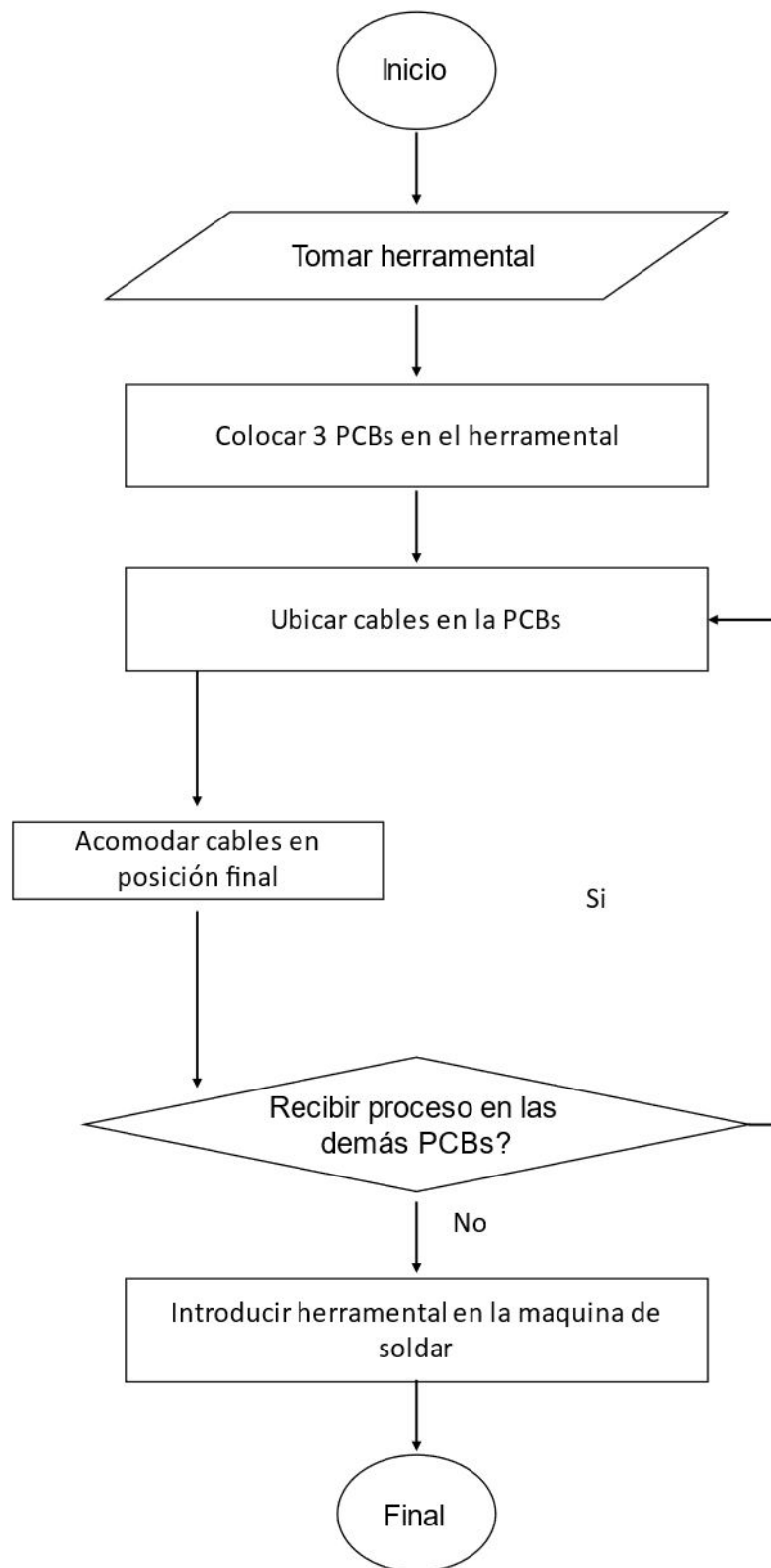
Ilustración 75 Estudio de tiempo del herramental Actual
Fuente: Propia

Estudio de tiempo del nuevo herramental

En el caso del nuevo diseño, se realizaron modificaciones para agrupar ciertas actividades, como el uso de **tapas con mango en lugar de imanes**, lo que simplificó las tareas de preparación del herramental y eliminación de los pasos relacionados con la colocación y retiro de imanes. Las actividades ahora medidas fueron:

- Preparación del herramental (colocación de tapas).
- Colocar las 3 PCBs en el herramental.
- Poner los cables en las PCBs.
- Acomodar los cables.
- Introducir el conjunto en la máquina de soldar.

El diagrama de flujo para el prototipo de herramental desarrollado tiene como objetivo ilustrar las etapas clave del proceso, desde la preparación inicial hasta la ejecución final. Este diagrama proporciona una representación visual clara de las fases involucradas, facilitando la comprensión y el análisis del flujo de trabajo. Cada paso está diseñado para optimizar el tiempo de operación, mejorar la ergonomía del operador y asegurar la calidad en la colocación de cables en las PCBs. El diagrama de flujo también ayuda a identificar posibles puntos de mejora en el proceso, permitiendo ajustes eficientes para maximizar la productividad y reducir riesgos operativos.



Para calcular el tiempo estándar después de la implementación del nuevo herramental, se siguió el mismo procedimiento descrito previamente.

Se registraron los tiempos de las actividades realizadas con el nuevo herramental, asegurando que los datos fueran representativos y se capturaran bajo condiciones normales de operación.

Al igual que con el herramental anterior, se realizó la sumatoria de los tiempos de todas las actividades, obteniendo un total de 3233 como se muestra en la siguiente tabla 12.

Tabla 12 Tiempo de ciclo herramental nuevo

No.	Tiempo para un ciclo
1	200 segundos
2	213 segundos
3	230 segundos
4	206 segundos
5	229 segundos
6	214 segundos
7	200 segundos
8	208 segundos
9	226 segundos
10	229 segundos
11	231 segundos
12	214 segundos
13	209 segundos
14	209 segundos
15	215 segundos
Sumatoria	3233 segundos

Fuente: Propia

Para calcular el tiempo estándar utilizando el nuevo herramental, se siguió el mismo procedimiento descrito anteriormente.

$$Tt = 3233(1 + 0.15) = 3719 \text{ segundos.}$$

Como se muestra en la ilustración 76 este nuevo tiempo estándar evidencia una mejora notable en la eficiencia del proceso, logrando una reducción del tiempo total requerido para completar las actividades. Este resultado reafirma los beneficios de implementar el nuevo herramental en términos de productividad y ergonomía.

- Tiempo Promedio Total: **3719 segundos.**

Time study sheet			OPERATION: Plásticos PROGRAM: Ensamble de 5 cables PART#: 16026264A DATE: 14/11/2024 TIME START: 11:00 a. m. TIEM END: 12:30 p. m. TIME STUDY MADE BY:														
No.	Cantidad de piezas	Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	3	Preparación del herramental	7.51	4	4	4	4	2	3	3	4	3	8	3	3	4	4
2	3	Colocación de PCBs	5.96	11	7	8	9	9	9	9	7	9	10	10	8	9	7
1 PCBs																	
3	1	Colocar los cables	32	38	42	33	42	38	36	47	41	59	43	40	40	42	40
4	1	Ajuste del cableado	6	6	8	10	7	7	2	2	4	4	6	0	5	2	2
2 PCBs																	
5	1	Colocar los cables	30	34	38	32	43	40	35	36	46	31	42	42	40	42	41
6	1	Ajuste del cableado	4	6	12	7	6	8	3	3	6	9	2	4	4	3	5
3 PCBs																	
7	1	Colocar los cables	35	34	38	36	40	28	36	33	41	37	36	39	30	30	38
8	1	Ajuste del cableado	3	4	6	2	2	8	2	2	4	3	6	0	5	2	4
9	3	Inserción en máquina de soldadura	78	76	75	74	76	74	74	73	73	74	78	76	74	75	74
Tiempo para un ciclo			201.47	213	230	206	229	214	200	208	226	229	231	214	209	209	215
Tolerancia			15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Tiempo estándar			231.69	244.95	264.50	236.90	263.35	246.10	230.00	239.20	259.90	263.35	265.65	246.10	240.35	240.35	247.25
Tiempo por pieza			77.23	81.65	88.17	78.97	87.78	82.03	76.67	79.73	86.63	87.78	88.55	82.03	80.12	80.12	82.42
Sumatoria de tiempo estándar					3719.64												

Ilustración 76 Estudio de tiempo del herramental nuevo
Fuente: Propia

Para calcular la **reducción total del promedio** entre el tiempo del proceso actual y el tiempo del proceso con el nuevo herramental, se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Reducción Total Promedio} = \text{Tiempo Promedio Actual} - \text{Tiempo Promedio Nuevo}$$

$$\text{Reducción Total Promedio} = 5014 - 3719 = \mathbf{1295 \text{ segundos.}}$$

Reducción Total Promedio: **1295 segundos**, representando una mejora del **25.83%**.

Para calcular el porcentaje de mejora se usó la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de mejora} = \left(\frac{\text{Reducción total promedio}}{\text{Tiempo total promedio}} \right) * 100$$

$$\text{Porcentaje de mejora} = \left(\frac{1295}{5014} \right) * 100 = \mathbf{25.83\%}$$

Mayor Mejora: La actividad de "colocar los cables" mostró la mayor reducción de tiempo gracias al diseño optimizado con guías cónicas que facilitan su colocación y aseguran su posición en la PCB.

La gráfica presentada a continuación muestra una comparación del tiempo total requerido para completar las actividades de producción entre el herramental actual y el nuevo herramental. En ella se pueden observar los tiempos registrados para cada uno de los procesos, evidenciando una reducción significativa al implementar el nuevo diseño.

El herramental actual registra un tiempo total de **5014 segundos**, mientras que el nuevo herramental reduce este tiempo a **3719 segundos**, lo que equivale a una mejora del **25.83%** en la eficiencia operativa.

Esta mejora refleja no solo una optimización en el tiempo de ciclo, sino también una reducción en el esfuerzo físico requerido por los operadores, contribuyendo a un entorno laboral más ergonómico y productivo.

Como se muestra la ilustración 77 gráfica permite visualizar claramente los beneficios tangibles del nuevo diseño, lo cual refuerza su idoneidad para su implementación en la línea de producción.

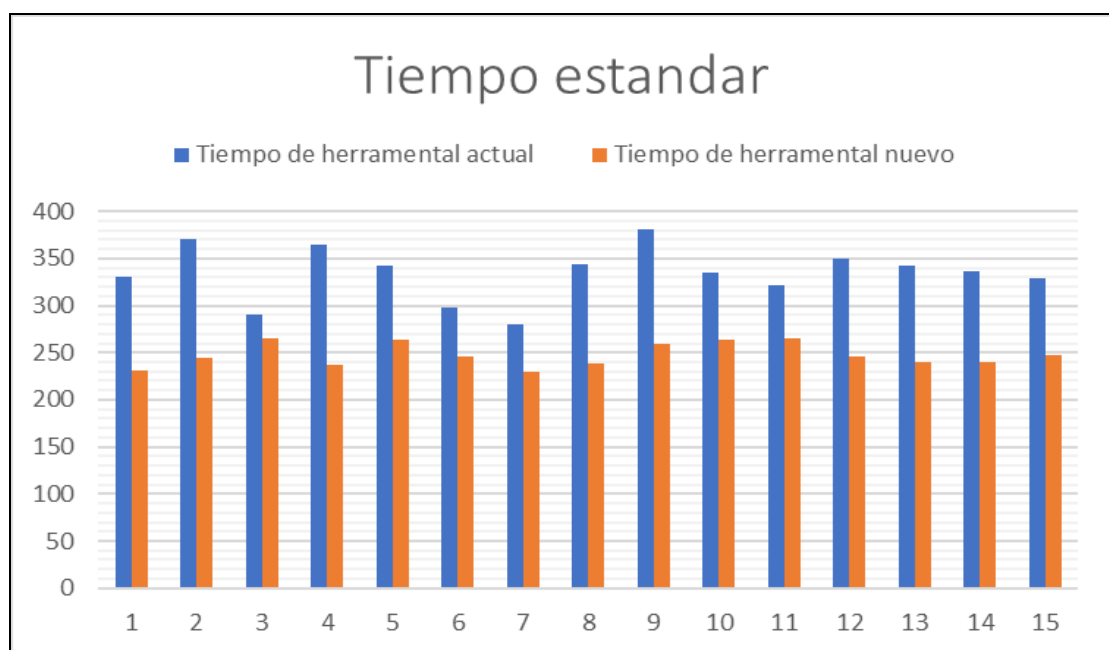


Ilustración 77 Grafica de tiempo estándar
Fuente: Propia

El uso del nuevo herramental permitió una mejora significativa en el tiempo total del proceso, reduciendo los riesgos ergonómicos y mejorando la eficiencia en las actividades clave.

Registrar cualquier problema o área de mejora.

Se recopiló la retroalimentación final de los operadores y del equipo de ingeniería para perfeccionar el diseño del herramental.

- **Retroalimentación de Operadores:** Uno de los operadores de la línea sugirió que el prototipo podría asemejarse más al diseño inicial que utilizaba pinzas, ya que considera que este formato facilitaría la colocación de los cables.
- **Sugerencias del Equipo de Ingeniería:** Los ingenieros de las áreas de Industrial y Manufactura propusieron acortar las tapas del prototipo actual. Esto permitiría una manipulación más sencilla y una colocación de los cables más eficiente, optimizando el tiempo requerido en la operación.

Ambas propuestas serán evaluadas para considerar su viabilidad y posibles impactos en el rendimiento y ergonomía del herramental, buscando un equilibrio entre facilidad de uso y eficiencia en el proceso de producción.

Datos financieros

En este estudio, se realizó una comparación entre la fixtura actual y la nueva, evaluando los costos de mano de obra, la productividad por hora y turno, el costo por pieza y el ahorro generado por pieza. A continuación, se explica paso a paso cómo se obtuvieron los datos y las fórmulas utilizadas:

Operadores: Se tomó en cuenta un operador asignado a cada fixtura tanto en la actual como en la nueva.

Cantidad de Fixturas: Solo se usó una fixtura en ambos casos para estandarizar la comparación.

Horas por Turno: Se estableció que un turno consta de 7.5 horas (7 horas con 30 minutos).

Costo de Mano de Obra (Por Hora):

- La tarifa por hora en dólares fue de 6.82 USD.
- Se convirtió a pesos multiplicando por un tipo de cambio de 20.62 MXN, resultando en 140.63 pesos por hora.

Costo de Mano de Obra (Por Turno):

- Para calcular el costo total por turno, se multiplicó el número de operadores (1) por las horas por turno (7.5) y el costo por hora (140.63 pesos).
- Esto dio como resultado un total de 1,054.71 pesos por turno.

Piezas por Hora:

- Con la fixtura actual, se producen 32 piezas por hora.
- Con la nueva fixtura, la producción aumentó a 44 piezas por hora.

Piezas por Turno:

- Para la fixtura actual, se multiplicó 32 piezas por hora por 7.5 horas, obteniendo 240 piezas por turno.
- Para la nueva fixtura, se multiplicó 44 piezas por hora por 7.5 horas, obteniendo 330 piezas por turno.

Costo por Pieza: Se dividió el costo total por turno (1,054.71 pesos) entre la cantidad de piezas producidas en ese turno:

- Fixtura actual: $1,054.71 / 240 = 4.39$ pesos por pieza.
- Nueva fixtura: $1,054.71 / 330 = 3.20$ pesos por pieza.

Ahorro por Pieza: Finalmente, se calculó la diferencia en el costo por pieza entre la fixtura actual y la nueva:

- $4.39 - 3.20 = 1.20$ pesos de ahorro por pieza.

Esta tabla 13, demuestra cómo la implementación de la nueva fixtura incremento la producción, generando un ahorro significativo por pieza producida, optimizando los recursos de la empresa.

Tabla 13 Optimización de los recursos de la empresa

	Operadores	Cantidad de Fixturas	Horas por Turno	Costo de mano de obra		Piezas por Hora	Piezas por Turno	Costo por Pieza	Ahorro por Pieza
				Por Hora	Por Turno				
Fixtura Vieja	1	1	7.5	\$ 140.63	\$ 1,054.71	32	240	\$ 4.39	
Fixtura Nueva	1	1	7.5			44	330	\$ 3.20	\$ 1.20

Fuente: Propia

En esta tabla 13 se muestra el desglose de las horas laborales y el volumen de producción anual y semanal de la empresa, con las siguientes fórmulas aplicadas:

Horas al Día:

- Se considera que la empresa opera en 3 turnos, cada uno de 7.5 horas.
- Formula: 3 turnos X 7.5 horas / turno =22.5 Horas/ Día

Horas a la semana:

- La empresa trabaja 5.5 días por semana.
- Formula: 22.5 horas/ día X 5.5 días /semana = 123.75 horas / semana.

Horas al mes:

- El total de horas al año (5816.25 horas) se divide entre los 12 meses del año.

- Formula:
$$\frac{5816.25 \text{ horas/año}}{12 \text{ meses}} = 484.6875 \text{ horas/mes}$$

Horas al año:

- Se multiplica el total de horas trabajadas por semana (**123.75 horas**) por las semanas laborales en un año (**47 semanas**).
- Formula; 123.75 horas/ semana x 47 semanas / año =5816.25 horas/ año.

Volumen Anual:

Según los registros, la empresa produce un total de **289,000 piezas al año**.

Volumen semanal:

Para obtener el volumen semanal, se divide el volumen anual entre las semanas de operación anual (**47 semanas**).

Formula:
$$\frac{289,000 \text{ piezas/año}}{47 \text{ semanas/año}} = 6148.9361 \text{ piezas/semana.}$$

Este análisis permite calcular las horas laborales totales y el volumen de producción de la empresa de forma precisa, lo que facilita la planificación y la toma de decisiones en la producción y asignación de recursos como se muestra en la tabla 14.

Tabla 14 Horas laborables totales y volumen de producción

Horas al Dia	Horas a la Semana	Horas al Mes	Horas al Año	Volumen Annual	Volumen Semanal
22.5	123.75	484.6875	5816.25	289,000	6148.93617

Fuente: Propia

Se comparan las piezas producidas al día, semana, mes y año utilizando las fixturas actual y nueva. Las fórmulas se aplicaron de la siguiente manera:

Producción al día

- Fixtura vieja 22.5 horas/ día x 32 piezas/ hora =720 piezas/ día.
- Fixtura nueva 22.5 horas/ día x 44 piezas/ hora =990 piezas/ día.

Producción a la semana

- Fixtura vieja 123.75 horas/ semana x 32 piezas/ hora =3960 piezas/ semana.
- Fixtura nueva 123.75 horas/ semana x 44 piezas/ hora =5445 piezas/ semana.

Producción al mes

- Fixtura vieja 484.68 horas/ mes x 32 piezas/ hora =15510 piezas/ mes.
- Fixtura nueva 484.68 horas/ mes x 44 piezas/ hora =21326 piezas/ mes.

Producción al año

- Fixtura vieja 5815.25 horas/ año x 32 piezas/ hora =186120 piezas/ año.
- Fixtura nueva 5815.25 horas/ año x 44 piezas/ hora =255915 piezas/ año.

Como se muestra la tabla 15 este análisis muestra claramente el incremento significativo en la producción con la implementación de la nueva

fixtura, lo que se traduce en mayor eficiencia operativa y capacidad de producción.

Tabla 15 Piezas producibles

	Piezas Producibles			
	Al día	A la Semana	Al mes	Al año
Fixtura Vieja	720	3960.0	15510.0	186120.0
Fixtura Nueva	990	5445.0	21326.3	255915.0

Fuente: Propia

Cálculo del ahorro anual

- El ahorro por pieza es de **\$1.20**, y el volumen anual de producción es de **289,000 piezas**.

La fórmula es: 289000 piezas X \$1.20/pieza= \$346,377.34/año.

Cálculo del ahorro total de vida del proyecto

La vida útil del proyecto es de 6 años.

- La fórmula es: \$346,377.34/año X 6 años = \$2,078,264.03.

Esta tabla 16, muestra el análisis destaca los beneficios económicos significativos que se derivan de la implementación del nuevo herramental. El ahorro acumulado durante la vida del proyecto respalda la viabilidad financiera de la mejora propuesta.

Tabla 16 Ahorro anual

Ahorro Anual	Ahorro total del vida del proyecto
\$ 346,377.34	\$ 2,078,264.03

Fuente: Propia

Desarrollo de prototipo

El desarrollo del prototipo requirió una inversión inicial en materiales y recursos necesarios para su fabricación. Esto incluyó la compra de una impresora 3D para la producción, filamentos PLA como materia prima, imanes utilizados en el diseño, así como el consumo de electricidad durante las horas de impresión. A continuación, se presenta el desglose detallado de los costos asociados al proyecto:

1. Impresora 3D: \$4,500 MXN
2. Filamentos PLA: 5 rollos x \$350 = \$1,750 MXN
3. Imanes: 2 paquetes x \$200 = \$400 MXN
4. Costo de electricidad: Para calcular el costo de electricidad, tomaremos el costo promedio del kWh en Guanajuato, que ronda los \$2.5 MXN (tarifa doméstica promedio). La impresora 3D consume en promedio 250W por hora.
Consumo total en kWh: $250\text{W} \times 70 \text{ horas} = 17.5 \text{ kWh}$.
Costo de electricidad: $(17.5 \text{ kWh})(2.5/\text{kWh}) \43.75 .

Costo total del prototipo:

$\$4,500 + \$1,750 + \$400 + \$43.75 = \$6,693.75 \text{ MXN}$.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

A lo largo del desarrollo de este proyecto, se abordaron distintas fases que permitieron integrar herramientas tecnológicas, principios ergonómicos y metodologías de ingeniería para optimizar el proceso de colocación de cables en las PCBs.

Desde el planteamiento del problema, se diagnosticó el impacto negativo del herramental actual en la ergonomía de los operadores y su contribución a tiempos prolongados y menor productividad. Este análisis inicial permitió definir objetivos claros para mejorar tanto la eficiencia del proceso como las condiciones laborales, destacando la necesidad de un nuevo diseño que redujera riesgos físicos y optimizara el desempeño del operador.

El desarrollo metodológico incluyó la conceptualización y validación del prototipo. A partir de bocetos iniciales y software CAD, se evaluaron diferentes propuestas hasta consolidar un diseño basado en tubos cónicos con tapas ajustables, facilitando la colocación precisa de los cables y reduciendo la necesidad de esfuerzo excesivo. La impresión 3D permitió iterar rápidamente sobre el diseño y obtener un prototipo funcional que cumplió con los requerimientos ergonómicos y técnicos.

En los resultados, se evidenció una mejora significativa en la operación. El tiempo promedio de colocación de cables se redujo de 5.57 min a 4.13 min, representando una mejora del 25.83%. Esta reducción no solo se debió a la implementación del nuevo herramental, sino también a la eliminación de una actividad dentro del proceso, optimizando así el flujo de trabajo. Además, los operadores reportaron una disminución en molestias físicas, validando la efectividad del nuevo diseño en términos ergonómicos. También se incorporaron ayudas visuales, como la diferenciación de colores en los tubos cónicos, lo que incrementó la precisión y redujo errores en la colocación de cables.

Si bien la hipótesis inicial planteaba reducir el tiempo a menos de 4 min, el estudio demostró que el operador aún no tenía la habilidad suficiente para optimizar completamente el uso del nuevo herramental. Sin embargo, se espera que, con la práctica y el entrenamiento adecuado, el tiempo continúe disminuyendo hasta alcanzar el objetivo previsto, validando así la hipótesis en el mediano plazo. Como recomendación, se sugiere continuar utilizando el nuevo prototipo y realizar un nuevo estudio de tiempos una vez que los operadores hayan adquirido mayor destreza en su uso.

Además, la metodología utilizada en este proyecto establece un precedente para futuras mejoras en procesos productivos, demostrando que la combinación de tecnología y ergonomía puede generar impactos positivos tanto en la productividad como en el bienestar de los trabajadores.

En conclusión, este proyecto demostró cómo la innovación tecnológica, respaldada por análisis técnico y un enfoque humano, puede transformar un proceso productivo. Se logró optimizar tiempos, mejorar la calidad del trabajo y garantizar la seguridad y comodidad de los operadores. Este enfoque integral abre la posibilidad de seguir mejorando e implementando soluciones en otros procesos dentro del ámbito manufacturero.

Recomendaciones

- Implementar sesiones de entrenamiento sobre el uso correcto del nuevo herramental, destacando las mejoras ergonómicas y operativas. Esto asegurará que todos los operadores puedan adaptarse rápidamente y obtener el máximo beneficio de las innovaciones.
- Realizar revisiones regulares del herramental para verificar su estado, identificar posibles desgastes y planificar reemplazos o ajustes necesarios, garantizando un desempeño óptimo a largo plazo.
- Evaluar el uso de materiales más resistentes o ligeros para futuras iteraciones del herramental, mejorando su durabilidad y facilidad de manejo. Además, considerar mejoras estéticas o funcionales basadas en el **feedback** de los operadores.
- Realizar estudios ergonómicos más amplios, incluyendo otras partes del cuerpo, para garantizar que todo el entorno laboral sea seguro y cómodo para los operadores.
- Involucrar a los operadores en la retroalimentación continua del diseño, ya que sus experiencias y sugerencias pueden aportar ideas valiosas para futuras mejoras.
- Realizar un nuevo estudio de tiempos una vez que el operador haya adquirido suficiente habilidad con el nuevo herramental. Esto permitirá validar si el tiempo de proceso puede reducirse aún más y confirmar el cumplimiento de la hipótesis planteada en el proyecto.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Abhijit, B., & Rahul, C. (2023). *Polymer Processin: Design,Printing and Applications of Multi-Dimensional*.
- Alonso, J. M. (2006). *Introducción al Solid Edge*. Madrid: Polig Industrial Codein.
- Arellano, J., & Rodriguez, R. (2013). *SALUD EN EL TRABAJO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL*. Alfaomega Grupo Editor.
- Asensio , C., Sabina, Bastante, C., Maria, J., & Jose, A. (2012). *Evaluación Ergonómico de puestos de trabajo*. Ediciones Paraninfo.
- Berchon, M., & Luyt, B. (2016). *La impresión 3D*. Barcelona: Gustavo Gili.
- BRADY. (2023). *BRADY*. Obtenido de <https://www.bradyid.com.mx/aplicaciones/fabrica-visual-y-manufactura-esbelta>
- Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (8ª ed.)*. Ciudad de México: Mcgraw-Hill.
- Cañedo Fernández , M. A. (2015). *Programación de la produccion en industrias de proceso*. España: Elearning S.L.
- create, E. t. (2022). *Impresors 3d.com*. Obtenido de <https://www.impresoras3d.com/producto/impresora-3d-creality-ender-3/>
- Creus, A., & Mangosio, J. (2011). *SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO UN ENFOQUE INTEGRAL*. Buenos Aires: Alfaomega Grupo Editor Argentino.
- Criollo, G. (2005). *Ingenieria de Métodos y Medición del trabajo*. Ciudad de méxico: Limusa.
- Cruelles Ruiz, J. A. (2012). *Mejora de métodos y tiempos de fabricación*. Barcelona: Marcombo.
- Cruelles, J. (2013). *Ingenieria Industrial*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- CTAIMA. (09 de 02 de 2023). *ctaima.com*. Obtenido de ¿Cuales son los 7 tipos de riesgos laborales (con ejemplos)?:
<https://www.ctaima.com/blog/cuales-son-los-7-tipos-de-riesgos-laborales-con-ejemplos/>
- Cuesta. (2009). *El muestreo*. Librerías Gandhi.

- Escalante Lago, A. (2015). *Ingeniería Industrial: Métodos y tiempo con manufactura ágil*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- F. E, M., & M. P., S. (2006). *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*. Nueva Jersey: Pearson Prentice Hall.
- F.E, G., A, M., Spencer, & Dygdon. (2013). *Modern Graphics Communication*. Boston: Pearson Education.
- G.BUDYNAS, & J.keith, N. (2008). *Shigle's Mechanical Engineering Design*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Grimaldi, J. V., & Simonds, R. H. (1996). *La seguridad Industrial su administración*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Hernandez Sampieri, R., fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*.
- Ibarra, B. (20 de 01 de 2023). *Contigo Centro*. Obtenido de ¿Que es un incidente y cómo diferenciarlo de un accidente?: <https://www.contigocentrolegal.com/blog/que-es-un-incidente-como-diferenciarlo-de-un-accidente/#:~:text=Por%20supuesto%2C%20cada%20empresa%20tiene,inesperado%20o%20una%20lesi%C3%B3n%20menor>.
- Impresoda 3D. (2023). Obtenido de <https://www.impresoras3d.com/guia-de-boquillas-para-impresoras-3d/>
- Indro, P., & Ayu, A. (2023). *Prototype Design of Parallette Equipment for Callisthenic Sports with PLA*. ASADEL PUBLISHER.
- JIMCONTENT. (10 de 01 de 2020). Obtenido de <https://www.bing.com/ck/a?!&&p=9604d870e40bdd60JmItldHM9MTcyODI1OTIwMCZpZ3VpZD0wNDJhMjNiOC03NWl0LTYzNzgtMmQ3MC0zNzI0NzQ4NjYyMGMmaW5zaWQ9NTE4MA&ptn=3&ver=2&hsh=3&fclid=042a23b8-75b4-6378-2d70-37247486620c&psq=El+dise%C3%B1o+del+producto+es+una+actividad+cr%>
- Kanawaty, G. (2011). *INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DEL TRABAJO*. MEXICO DF: LIMUSA.
- Kenneth E., K., & Julie E., K. (2005). *Análisis y diseño de sistemas*. Pearson Educación.

- L. C., & Palacios, A. (2016). *Ingeniería de métodos: Movimientos y tiempos*. ECOE.
- L. Norton. (2009). *Design of Machinery*. Nueva York: McGraw-Hill.
- L. Norton. (2009). *Machine Design: An Integrated Approach*. Upper Saddle River, Nueva Jersey: Pearson Education.
- Martin Cruz, D. (2019). *Impresión 3D para makers*. MARCOMBO.S.L.
- Martínez de Barranco, T., & Guillón Florimon, J. (2000). *Diseño de proyectos de ingeniería*. Santo Domingo R.D.: Búho.
- Mayers, Stephens, P, M., & E, F. (2006). *Manufacturing Facilities Design and Material Handling*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Norton, R. (2009). *Machine Design: An Integrated Approach*. Upper Saddle River, Nueva Jersey: Pearson Education.
- Pulido, G., & Salazar. (2009). *Un formato para la recolección y análisis de datos*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- resultae. (2023). *resultae*. Obtenido de resultae: <https://resultae.com/mejora-de-la-productividad/calculo-del-tiempo-estandar/#:~:text=El%20tiempo%20est%C3%A1ndar%20se%20define,trabajando%20a%20una%20velocidad%20normal>.
- S, K., & S.R, S. (2008). *Manufacturing Engineering and Technology*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Schmelkes, & Elizondo. (2010). *La investigación de diseño en ingeniería: Desarrollo y validación de equipos y sistemas*. Ciudad de México: Trillas.
- SELECT BUSINESS, S. (16 de 11 de 2022). *escuelaselect.com*. Obtenido de ¿Cuáles son los 7 tipos de riesgos laborales?: <https://escuelaselect.com/tipos-riesgos-laborales-clasificacion/>
- SIEMENS. (0 de 01 de 2023). *solidedge.siemens.com*. Obtenido de solidedge.siemens.com: <https://solidedge.siemens.com/es/>
- SIENMS. (01 de 2024). *SIENMS SOFTWARE*. Obtenido de SIENMS SOFTWARE: <https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/computer-aided-design-cad/>
- Susana Bichachi, D. (2004). *Un instrumento para la verificación y control*. Ciudad de México: Trillas.
- Tickoo, S. (2022). *Solid Edge*. Schererville, Indiana, USA: cadcim.

- Verdoy, P. J., & Mahigues, J. M. (2006). *Manual de control estadístico de calidad: Teoría y aplicaciones*. Book Print Digital.
- Westreicher. (2022). *Muestreo por conveniencia*. Economipedia.
- Wolfgang, L., & Joachim, V. (1998). *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO*. Madrid: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.

ANEXOS

Anexo 1 Formato para el diagnóstico de la metodología RULA

Checklist para la Evaluación Ergonómica del Herramental

Evaluación de Preparación del herramental y colocación de PCBs			
Preguntas		Si	No
1	¿Existe flexión o extensión de la muñeca mayor a 15°?		
2	¿Se requiere desviar la muñeca hacia un lado (desviación cubital/radial)?		
3	¿Los dedos realizan fuerza o presión significativa para fijar las PCBs?		
Evaluación de Colocación de cables en la PCB			
Preguntas		Si	No
1	¿La muñeca se encuentra en pronación o supinación extrema?		
2	¿La postura de la muñeca causa incomodidad o tensión en los operadores?		
3	¿Los dedos necesitan realizar movimientos repetitivos en un periodo corto?		
4	¿Se requiere aplicar fuerza para estabilizar los cables con una mano?		
Evaluación de Aplicación de la placa metálica con imanes			
Preguntas		Si	No
1	¿La muñeca adopta una postura incómoda para ajustar los cables?		
2	¿Se requiere ejercer presión excesiva con los dedos para ajustar los cables?		
3	¿El operador realiza esfuerzo adicional con los dedos para colocar la placa?		
Evaluación de Retiro de la placa metálica tras la soldadura			
Preguntas		Si	No
1	¿Se necesita esfuerzo considerable con los dedos para retirar la placa metálica?		
2	¿La presión ejercida con los dedos causa molestias o dolor en el operador?		
3	¿Los operadores recurren a herramientas adicionales para levantar la placa?		
Porcentaje: 100%			

Fuente: Propia