

**UNIVERSIDAD CENTRAL
VICERRECTORÍA ACADÉMICA**

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE PROCESOS PARA LA
REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE ENGOMADO EN LA
FABRICACIÓN DEL PRODUCTO "WIRE CONNECTOR"**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLERATO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

ESTUDIANTE: JULIO OSVALDO SUÁREZ HERNÁNDEZ

TUTOR: ING. BRYAN JOSÉ CASTRILLO MÉNDEZ

**SEDE METROPOLITANA, COSTA RICA
AGOSTO, 2025**

CONTENIDO

CONTENIDO	I
TABLAS	IV
FIGURAS	V
DEDICATORIA	VII
AGRADECIMIENTOS	VIII
EPÍGRAFE	IX
RESUMEN	X
CAPÍTULO I. PROBLEMA	1
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES	7
2.1.1 <i>Árbol de CTQ</i>	7
2.1.2 <i>Diagrama SIPOC</i>	8
2.1.3 <i>Project Charter</i>	9
2.1.4 <i>Análisis FODA</i>	10
2.1.5 <i>Diagrama de flujo</i>	10
2.1.6 <i>Tiempos de procesos</i>	11
2.1.7 <i>Gráficos de barras</i>	12
2.1.8 <i>Lluvia de ideas</i>	12
2.1.9 <i>Diagrama de Ishikawa</i>	13
2.1.10 <i>Los 5 porqués</i>	14
2.1.11 <i>Multivoto</i>	15
2.1.12 <i>Diagrama de Pareto</i>	16
2.1.13 <i>Benchmarking</i>	17
2.1.14 <i>Diagrama de Gantt</i>	17
2.1.15 <i>Retorno de la inversión (ROI)</i>	18
2.1.16 <i>Gemba Walk</i>	19
2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	20
2.2.1 <i>VISIÓN / MISIÓN</i>	20
2.2.2 <i>ANTECEDENTES HISTÓRICOS</i>	20
2.2.3 <i>UBICACIÓN GEOGRÁFICA</i>	21
2.2.4 <i>ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL</i>	21

2.2.5 CANTIDAD DE EMPLEADOS.....	22
2.2.6 TIPOS DE PRODUCTOS.....	22
2.2.7 MERCADO DE EXPORTACIÓN.....	22
2.2.8 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO.....	23
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO	24
3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN.....	26
3.3.1 <i>Sujetos de información</i>	26
3.3.1 <i>Fuentes primarias</i>	29
3.3.1 <i>Fuentes secundarias</i>	29
3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS.....	29
3.5 INSTRUMENTOS.....	32
3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	32
3.6.1 <i>Descripción de la situación actual</i>	33
3.6.2 <i>Desarrollo de las propuestas</i>	34
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
4.1 DEFINIR.....	37
4.1.1 <i>Árbol de CTQ</i>	37
4.1.2 <i>Diagrama SIPOC</i>	38
4.1.3 <i>Análisis FODA</i>	41
4.1.4 <i>Diagrama de flujo</i>	44
4.2 MEDIR.....	47
4.2.1 <i>Tiempos de procesos</i>	47
4.2.1 <i>Gráficos de barras</i>	49
4.3 ANALIZAR.....	50
4.3.1 <i>Lluvia de ideas</i>	50
4.3.2 <i>Diagrama de Ishikawa</i>	52
4.3.3 <i>Los 5 porqués</i>	55
4.3.4 <i>Multivoto</i>	58
4.3.5 <i>Diagrama de Pareto</i>	60
4.3.6 <i>Análisis del diseño de carcasas y aplicación del adhesivo</i>	63
CAPÍTULO V. PROPUESTA	67
5.1 MEJORAR.....	68
5.1.1 <i>Benchmarking interno</i>	68

5.1.2 Inclusión de acelerante para Loctite 4011.....	69
5.1.3 Proceso de Snap Fit (ensamble por encaje a presión).....	72
5.1.4 Propuesta sistema soldado ultrasónico.....	74
5.2 CONTROLAR.....	82
5.2.1 Diagrama de Gantt.....	83
5.2.2 Análisis de retorno de la inversión (ROI).....	90
5.2.3 Gemba Walk.....	97
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
APÉNDICES Y ANEXOS.....	108
APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	109
APÉNDICE 2: CARCASA PARTE INFERIOR.....	110
APÉNDICE 3: CARCASA PARTE SUPERIOR.....	110
APÉNDICE 4: CIERRE MECÁNICO SNAP FIT.....	111
ANEXO 1: HOJA TÉCNICA DEL LOCTITE 4011.....	112
ANEXO 2: NORDSON, ULTIMUS I-II HIGH PRECISION DISPENSERS.....	115
ANEXO 3: HOJA TÉCNICA DEL LOCTITE SF 7452.....	117
ANEXO 4: HOJA TÉCNICA DEL LOCTITE SF 770.....	119
ANEXO 5: HOJA TÉCNICA DEL DUKANE INFINITY X4.....	122
ANEXO 6: HOJA TÉCNICA DEL SOFTWARE DE DUKANE INFINITY X4.....	124

TABLAS

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área	22
Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico	30
Tabla 4.1: Tiempos de la línea de producción Wires	48
Tabla 4.2: Distribución de multivoto, proceso de engomado	60
Tabla 4.3: Distribución de frecuencia, proceso de engomado	62
Tabla 5.1: ROI por proceso	95
Tabla 5.2: Comparación del precio por volumen actual	96
Tabla 5.3: Comparación de los precios por volumen aumentado	97

FIGURAS

Figura 2.1: Ejemplo de árbol CTQ.....	7
Figura 2.2: Ejemplo de diagrama SIPOC.....	8
Figura 2.3: Ejemplo de Project Charter.....	9
Figura 2.4: Análisis FODA.....	10
Figura 2.5: Diagrama de flujo.....	11
Figura 2.6: Gráfico de barras.....	12
Figura 2.7: Ejemplo de lluvia de ideas.....	13
Figura 2.8: Ejemplo de diagrama de Ishikawa.....	14
Figura 2.9: Ejemplo de los 5 porqués.....	15
Figura 2.10: Ejemplo de multivoto.....	16
Figura 2.11: Ejemplo de diagrama de Pareto.....	16
Figura 2.12: <i>Benchmarking</i>	17
Figura 2.13: Ejemplo diagrama de Gantt.....	18
Figura 2.14: Fórmula para calcular el ROI.....	18
Figura 2.15: Mapa satelital de MediTech.....	21
Figura 2.16: Organigrama de MediTech.....	22
Figura 2.17: Flujo de proceso de la línea Wires.....	23
Figura 3.1: Project Charter.....	28
Figura 3.2: Descripción utilizada de la metodología DMAIC en cada etapa del ciclo.....	32
Figura 4.1: Árbol de CTQ, proceso de engomado.....	38
Figura 4.2: Diagrama SIPOC, proceso de engomado.....	41
Figura 4.3: Análisis FODA, proceso de engomado.....	43
Figura 4.4: Diagrama de flujo.....	46
Figura 4.5: Gráfico de barras, proceso de engomado.....	50
Figura 4.6: Lluvia de ideas, proceso de engomado.....	52
Figura 4.7: Diagrama de Ishikawa, proceso de engomado.....	55
Figura 4.8: Preguntas de los 5 porqués.....	57
Figura 4.9: Distribución de Pareto, proceso de engomado.....	63
Figura 4.10: Descripción gráfica de las carcasas, parte inferior.....	65
Figura 4.11: Descripción gráfica de las carcasas, parte superior.....	66
Figura 5.1: Loctite SF 7452.....	71
Figura 5.2: Loctite SF 770.....	72
Figura 5.3: Ejemplo de <i>Snap Fit</i>	74
Figura 5.4: Ejemplo de diseño para soldado ultrasónico, parte superior.....	78
Figura 5.5: Detalle aumentado diseño para soldado ultrasónico, parte superior.....	78
Figura 5.6: Ejemplo de diseño para soldado ultrasónico, parte inferior.....	79
Figura 5.7: Detalle aumentado diseño para soldado ultrasónico, parte inferior.....	79
Figura 5.8: Ejemplo de diseño para soldado ultrasónico, ensamble de carcasas.....	81
Figura 5.9: Detalle aumentado diseño para soldado ultrasónico, ensamble de carcasas.....	82

Figura 5.10: Diagrama de Gantt para el acelerante	84
Figura 5.11: Diagrama de Gantt para <i>Snap Fit</i>	86
Figura 5.12: Diagrama de Gantt soldado ultrasónico	89

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto a Dios, por haberme brindado la oportunidad de llegar a esta etapa tan valiosa de mi vida.

A la Universidad Central y a la Escuela de Ingeniería Industrial, por ofrecerme la formación y los recursos necesarios para desarrollar esta investigación.

A mi familia, especialmente a mis hijos, quienes fueron parte del motor que me motivó a nunca rendirme, y a mis padres, quienes me apoyaron con su propio tiempo durante este proceso.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios, por darme la fortaleza, paciencia y perseverancia para culminar esta etapa académica.

A la empresa MediTech, por brindarme la oportunidad de realizar este estudio y facilitarme la información requerida para el desarrollo del proyecto.

A mi familia, que siempre creyó en que lo podría lograr con su amor, apoyo incondicional y sacrificios, sin los cuales no habría llegado hasta aquí.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una forma u otra, contribuyeron en este logro. ¡Gracias infinitas!

EPÍGRAFE

*Si no puedes volar, corre; si no puedes correr, camina; si no puedes caminar, gatea,
pero hagas lo que hagas, sigue adelante.*

M. Luther King Jr.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la empresa MediTech, enfocada en la manufactura de dispositivos médicos, con el objetivo de analizar y proponer alternativas al proceso actual de engomado del producto “Wire Connector”. El proceso vigente, basado en el uso del adhesivo Loctite 4011, requiere entre 2 y 4 horas de curado por pieza, lo que representa un cuello de botella crítico para la línea de producción “Wires”.

Mediante la aplicación de la metodología DMAIC y herramientas ingenieriles como el diagrama SIPOC, análisis FODA, diagrama de Ishikawa, 5 porqués, árbol de CTQ y el ROI, se diagnosticó y evaluó el impacto del proceso actual. El análisis evidenció que los largos tiempos de espera reducen significativamente la capacidad productiva, limitando la línea a solo 81 piezas por semana.

Entre las propuestas de mejora se planteó la implementación de tecnologías como el soldado ultrasónico, capaz de reducir el tiempo de ensamble a 20 segundos por unidad, eliminando el uso de adhesivos y su tiempo de curado. También se consideraron soluciones intermedias, como el uso de aceleradores de curado para el adhesivo Loctite 4011 y mejoras en el diseño de las carcasas plásticas.

La viabilidad de estas propuestas fue evaluada desde la perspectiva técnica, económica y operativa, incluyendo un análisis de retorno de la inversión. Se concluye que la adopción del proceso de soldado ultrasónico incrementaría drásticamente la productividad, pasando de un proceso actual de 81 piezas semanales a 5000 piezas semanales, lo que reduciría costos, eliminaría variabilidad y fortalecería la competitividad de la empresa.

CAPÍTULO I. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El estudio se lleva a cabo en una línea de manufactura para la empresa MediTech, una compañía dedicada a la manufactura de dispositivos médicos; se realiza específicamente en la línea llamada "Wires", la cual evalúa el proceso de engomado y un análisis como alternativa para cambiarlo a un proceso de soldado ultrasónico, ya que, cuando dicha línea fue validada alrededor de 6 meses antes, el proceso de unión de dos carcasas plásticas se validó bajo el método de engomado, utilizando un adhesivo llamado Loctite 4011, pero dicho proceso tarda en curar, por pieza, entre 2 y 4 horas.

En la actualidad dicho proceso sigue vigente, lo cual representa un cuello de botella para la línea de producción, debido al tiempo de espera de curado tan prolongado. Esto ocasiona que, durante el día, la producción se ve reducida por el proceso de engomado.

En el momento de la validación del producto "Wire Connector" se detectó este problema de tiempo de curado muy elevado para una línea de manufactura. La solución propuesta resultaba en un costo elevado de inversión y estaba fuera de las posibilidades. La propuesta involucraba cambiar los moldes de todas las piezas plásticas y modificar el diseño, con costos asociados de aproximadamente \$120,000.

Sumado a que el proceso de engomado consume un tiempo significativo, las piezas plásticas fueron fabricadas en moldes de prototipado, lo que significa que no están hechos para una producción en masa o alto volumen de producción, ya que son de clase 105, diseñados para 500 ciclos de vida, lo cual a su vez podría ocasionar que exista el riesgo de no poder obtener las piezas plásticas y deber detener la línea de manufactura.

Por lo tanto, se desea analizar estrategias de mejoras, pero dichos cambios conllevan diversos retos, no solo de procesos, también de diseño, debido a que las piezas plásticas llamadas "carcasas", se diseñaron para utilizar el adhesivo Loctite 4011.

La oportunidad de mejora del soldado ultrasónico en el producto "Wire Connector" mejorará el tiempo de proceso en comparación con el de engomado, lo cual podría aumentar la productividad de la línea.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Analizar el proceso de engomado de la línea de manufactura "Wires" en la empresa MediTech, mediante la metodología DMAIC y herramientas ingenieriles, con el propósito del análisis de alternativas que permitan la reducción del tiempo de engomado.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir los factores influyentes en el proceso de engomado, que afectan el tiempo de producción.
- Medir la afectación del tiempo improductivo en la línea de manufactura al tener un proceso de engomado de 2 a 4 horas.
- Investigar alternativas de proceso que ayuden a reducir el tiempo de engomado.
- Proponer mejoras adicionales que ayuden reducir el tiempo de unión de las piezas plásticas "carcasas".

1.3 JUSTIFICACIÓN

Todo proceso de manufactura se mide por un punto clave: la eficiencia (marco conceptual), un indicador clave para la competitividad y la sostenibilidad en la industria. Para la manufactura del producto "Wire Connector", el proceso de engomado representa una etapa crítica e influye directamente en los tiempos de producción y costos operativos. Pese a ello, se ha identificado que este proceso presenta oportunidades de mejora en la reducción del tiempo de ejecución, lo que permitiría incrementar la productividad y disminuir los costos de fabricación.

Esta investigación procura oportunidades de mejora para el proceso de engomado, identificando técnicas, materiales o metodologías más eficientes. Al optimizar este proceso, se espera reducir tiempos de producción, minimizar desperdicios y aumenta la

calidad del producto, contribuyendo así a la mejora continua dentro del área de manufactura.

1.4 ANTECEDENTES

1.4.1 Antecedentes nacionales

El proceso de soldadura ultrasónica es uno de los métodos más rápidos y rentables utilizados para el ensamble de piezas plásticas y materiales no ferrosos. Este tipo de tecnología es una tecnología verde y elimina la necesidad de usar aceleradores de secado, pegamentos y solventes.

Morales, J. E. (2014). Caracterización del Proceso de Soldadura Ultrasónica en la Producción de Dispositivos de Salud de la Mujer (Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica) Repositorio SIBDI-UCR.

<https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/0a10efb1-b75b-4082-9b1e-a80e63995d1a/content>

MECASONIC tiene más de 50 años de experiencia en soldadura de termoplásticos y metales no ferrosos para la industria gracias a una gama única de maquinaria y a un servicio de proximidad reconocido en todo el mundo. Ofrece una amplia gama de soluciones al disponer de 6 tecnologías de soldadura: ultrasonidos, rotación, aire caliente/térmica, placa caliente, vibración y láser.

MECASONIC Plastic Welding Solutions, (2025). Soldadura de TermoPlásticos.

Recuperado de <https://sginplast.com/soldadura-de-termoplasticos/>

1.4.2 Antecedentes internacionales

Este es un proceso de soldadura por calor indirecto que utiliza ondas ultrasónicas para soldar termoplásticos y piezas metálicas delgadas.

La máquina funciona convirtiendo señales eléctricas de alta frecuencia (20-40 Hz) en ondas ultrasónicas. Posteriormente, la vibración mecánica generada se amplifica y se entrega para calentar y soldar las dos partes.

Rapid Direct, (2025). Qué es la soldadura ultrasónica: principio de funcionamiento, aplicaciones y ventajas.

Recuperados de <https://www.rapiddirect.com/es/blog/ultrasonic-welding/>

La soldadura por ultrasonidos es el método más rápido y, al mismo tiempo, más económico, aplicado para unir y montar piezas de plástico y metales no ferrosos entre sí. La ventaja fundamental de la soldadura por ultrasonidos es que permite trabajar sin adhesivos, sin elementos de unión ni disolventes, por lo que su aplicación resulta especialmente ecológica y rentable.

Telsonic Ultrasonics, (2025). Soldadura por ultrasonidos | Rápida y económica.

Recuperado de <https://www.telsonic.com/es/tecnologia-de-ultrasonidos/soldadura-por-ultrasonidos/>

1.5 PROYECCIONES

1.5.1 Alcances

La investigación tiene como objetivo analizar alternativas de procesos que ofrezcan reducir el tiempo de engomado en el producto "Wire Connector", optimizando la eficiencia productiva y la calidad del producto. El estudio se enfoca en la línea de manufactura "Wires", dentro de la planta de manufactura MediTech, sin considerar otros procesos de ensamble o producción externa.

1.5.2 Limitaciones

No hay limitaciones en el desarrollo del presente estudio.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

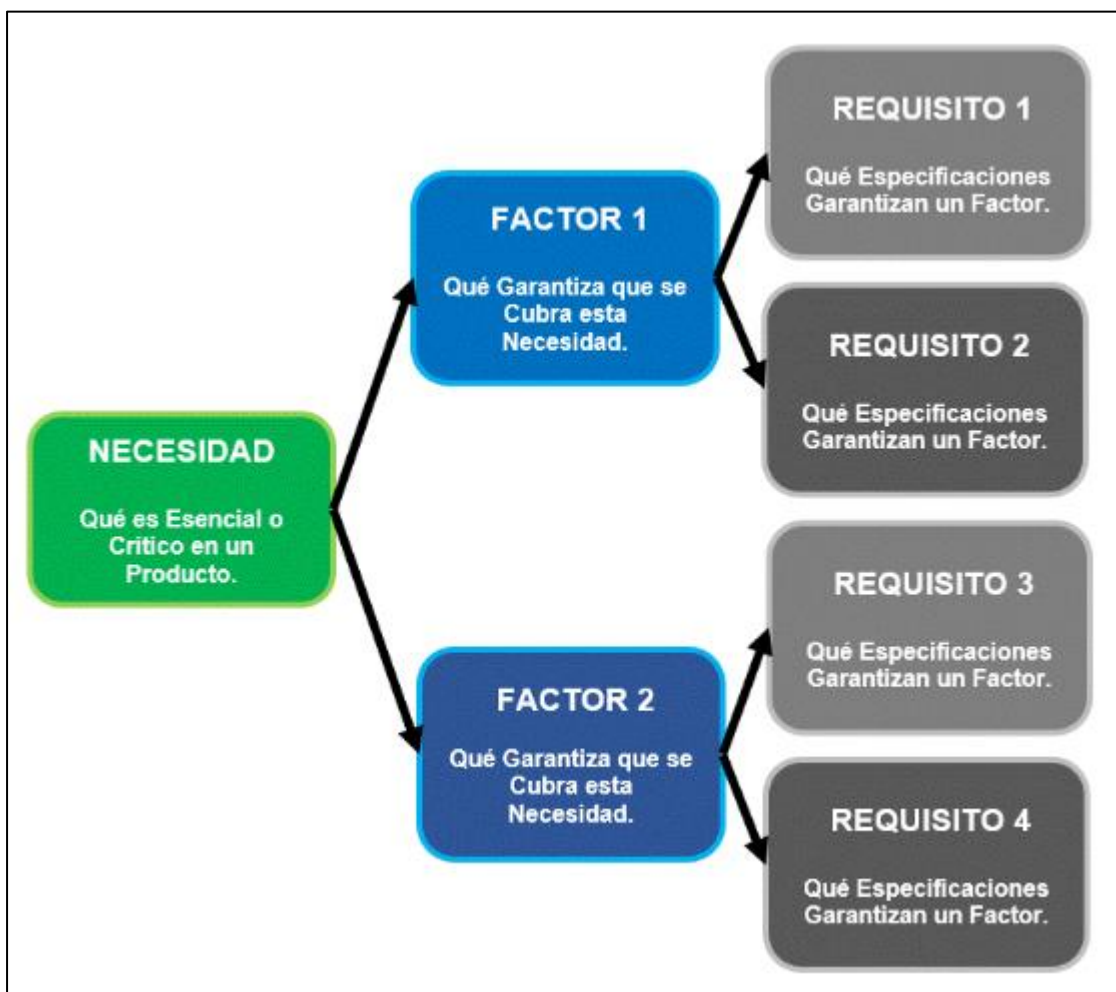
2.1 HERRAMIENTAS INGENIERILES

Las herramientas y conceptos técnicos considerados en el desarrollo de este estudio se describen a continuación.

2.1.1 Árbol de CTQ

El árbol crítico de la calidad (CTQ, por sus siglas en inglés) es un diagrama en el que se muestran los indicadores de calidad que permiten medir y determinar la calidad de un producto o servicio, de forma cuantitativa y cualitativa (Consunto, 2025).

Figura 2.1: Ejemplo de árbol CTQ



Fuente: Consunto, 2025.

Tomado de <https://www.consuunt.es/arbol-de-calidad/>

2.1.2 Diagrama SIPOC

Según la Asociación Española para la Calidad (2019), el diagrama SIPOC se define de la siguiente manera:

El diagrama SIPOC, por sus siglas en inglés Suppliers - Inputs - Process - Outputs - Customers, es la representación gráfica de un proceso de gestión. Permite visualizar el proceso de manera sencilla, identificando a las partes implicadas en él:

1. Proveedor (*supplier*): persona que aporta recursos al proceso.
2. Recursos (*inputs*): todo lo que se quiere para llevar a cabo el proceso. Se considera recursos a la información, materiales e incluso, personas.
3. Proceso (*process*): conjunto de actividades que transforman las entradas en salidas, dándoles un valor añadido.
4. Cliente (*customer*): persona que recibe el resultado del proceso. El objetivo es obtener la satisfacción de este cliente (Kanban Tool, 2025).

Figura 2.2: Ejemplo de diagrama SIPOC



Fuente: Kanban Tool, 2025

Tomado de <https://asana.com/es/resources/swot-analysishttps://kanbantool.com/kanban-guide/what-is-sipoc>

2.1.3 Project Charter

El Project Charter es el documento necesario para que los superiores aprueben el inicio del proyecto, ya que en dicho documento se recopila toda la información que justifique la necesidad de este (Asana, 2025).

Figura 2.3: Ejemplo de Project Charter

Q2 Brand Campaign — Project Charter

Project name: Q2 Brand Campaign

Project manager: @Avery Lomax

Last revision date: April 5, 2021

Project purpose statement: The purpose of this project is to increase brand awareness in NAMER and EMEA through a digital brand campaign in Q3.

Project objectives: Launch display and video ads in Q3 to increase brand awareness in NAMER and EMEA.

Project scope

Deliverables:

- Landing page design
- Display ads (two variations for A/B testing), sized according to display spec sheet
- Video spots (6 and 30 second spots), sized according to video spec sheet

Creative requirements:

- Display
 - Shows logo and CTA throughout animation
 - Both static and HTML5 banners are needed
- Video
 - Features branding within first 5 seconds
 - Includes voiceover
- Landing page
 - Ads and landing page should create a consistent visual experience

Out of scope:

- Translating brand campaign assets

Resources

- Brand design team (six people), 15 hours per week for four weeks
- \$50,000 media spend budget

Stakeholders and approvers

- Project sponsor: @Daniela Vargas
- Approvers: @Kat Mooney, @Kabir Madan

Fuente: Asana, 2025. *Project charter: qué es y cómo crearlo con una plantilla.*

Tomado de <https://asana.com/es/resources/project-charter>

2.1.4 Análisis FODA

El análisis FODA es una técnica que se usa para identificar las fortalezas, las oportunidades, las debilidades y las amenazas del negocio o, incluso, de algún proyecto específico. Si bien, por lo general, se usa muchísimo en pequeñas empresas, organizaciones sin fines de lucro, empresas grandes y otras organizaciones, el análisis FODA se puede aplicar tanto con fines profesionales como personales (Asana, 2025).

Figura 2.4: Análisis FODA



Fuente: Asana, 2025

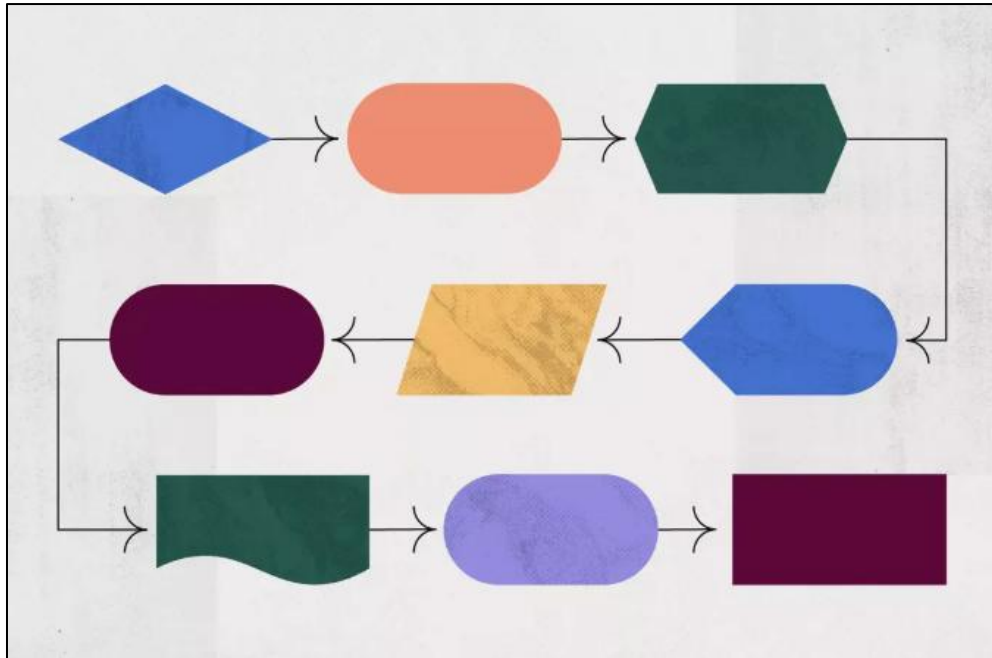
Tomado de <https://asana.com/es/resources/swot-analysis>

2.1.5 Diagrama de flujo

Para el desarrollo del análisis de todo proceso, el diagrama de flujo permite tener una visión más clara de cómo está estructurada una línea de manufactura.

“Un diagrama de flujo es la representación gráfica del flujo o secuencia de rutinas simples” (Manene, 2011).

Figura 2.5: Diagrama de flujo



Fuente: Asana, 2025

Tomado de <https://asana.com/es/resources/what-is-a-flowchart>

2.1.6 Tiempos de procesos

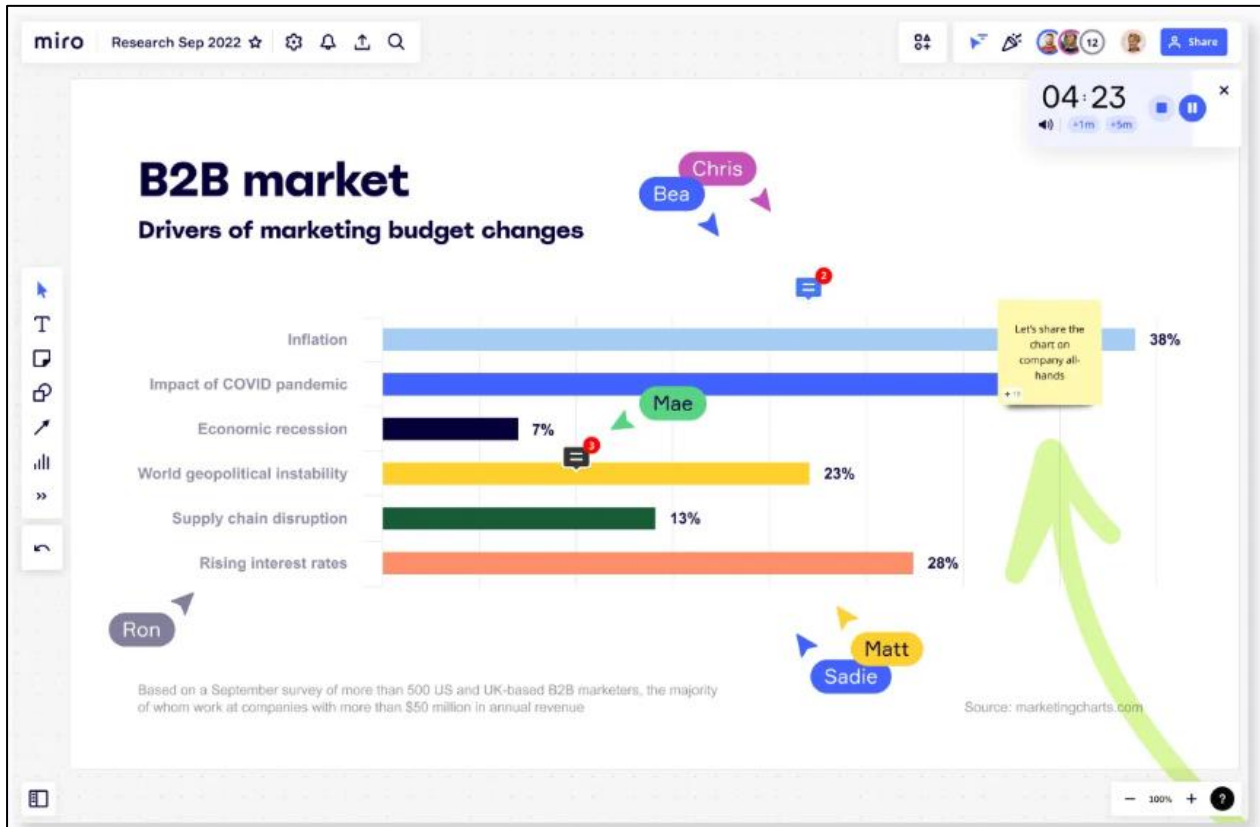
En la línea de producción, el estudio de tiempos de procesos es una herramienta que permite analizar el tiempo que se invierte en todas las actividades en un proceso productivo. Esto facilita la optimización y estandarización de cada tarea, lo cual ayuda en gran medida a entender las restricciones del proceso, o en cuál actividad se está invirtiendo la mayor cantidad de tiempo o esfuerzos.

El estudio beneficia a las compañías al entender la capacidad de producción que tienen las líneas, lo cual les permite la toma de decisiones si la producción va en aumento para entender dónde necesitan duplicar esfuerzos de ser necesario, o dónde los está deteniendo para producir volúmenes más altos.

2.1.7 Gráficos de barras

Un gráfico de barras es una forma de representar gráficamente datos numéricos mediante rectángulos verticales u horizontales, conocidos como barras. El tamaño de cada barra se ajusta proporcionalmente al valor que representa.

Figura 2.6: Gráfico de barras



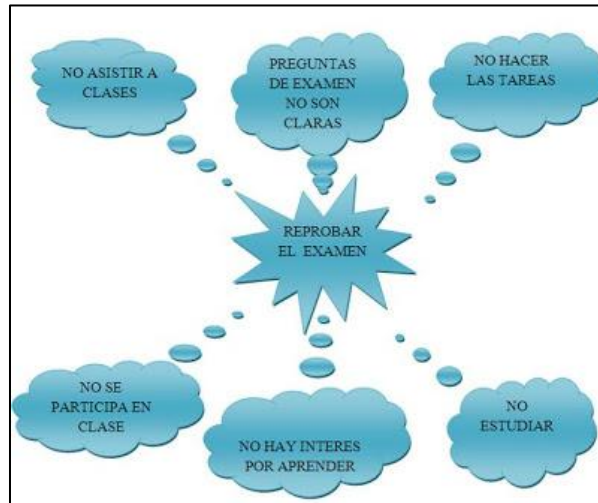
Fuente: Gráficos de barras, 2025

Tomado de <https://miro.com/es/graficos/que-es-grafico-barras/>

2.1.8 Lluvia de ideas

Esta herramienta se basa principalmente en que cada integrante enliste sus ideas de acuerdo con el tema, proyecto o problema a investigar, para luego juntarlas con la finalidad de inundar de ideas nuevas sobre lo dicho, algún tema o algún problema en específico. Así se soluciona de manera un poco más sencilla lo que se está tratando, gracias a las ideas colectivas que se formulan; con esta herramienta se fortalece el trabajo en equipo (Los tigres del 4A, 2017).

Figura 2.7: Ejemplo de lluvia de ideas



Fuente: Los tigres del 4A. 2017

Tomado de <https://herramientasdetomadadesiciones.wordpress.com/2017/11/14/lluvia-de-ideas/>

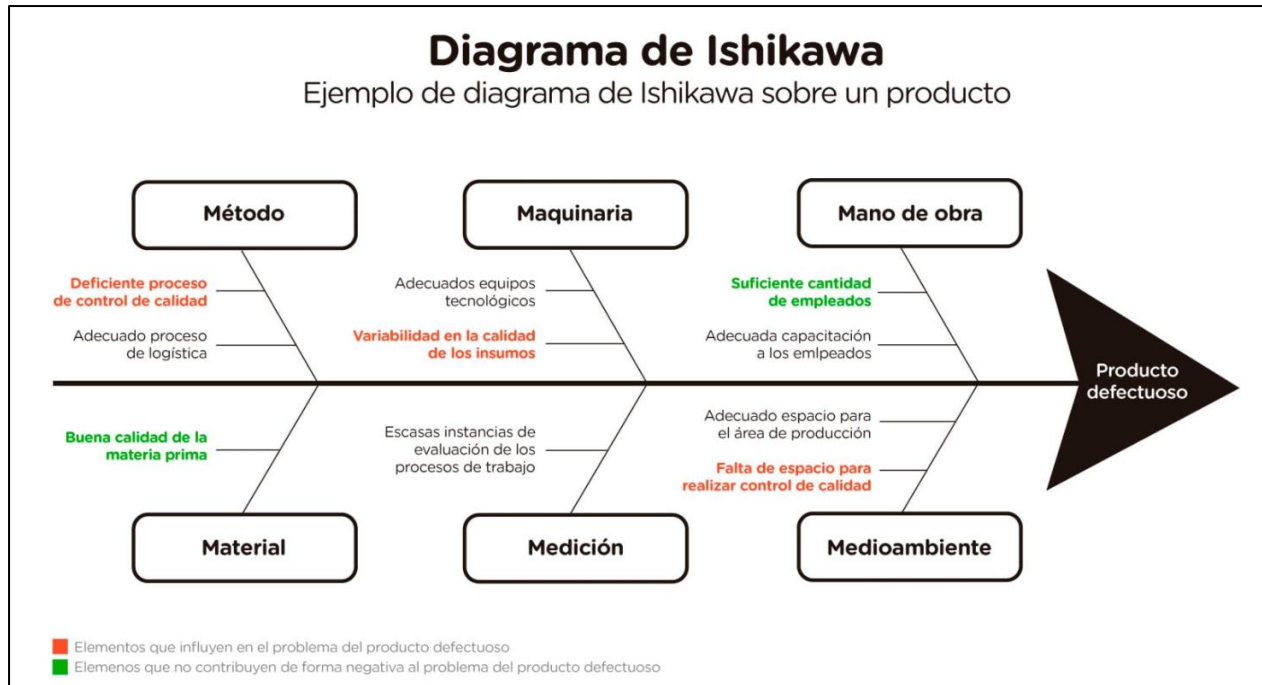
2.1.9 Diagrama de Ishikawa

En el diagrama anterior se presenta de manera gráfica la clasificación de las causas por afinidad de aquellas que han sido identificadas en el proceso de la investigación. Cabe mencionar que la implementación de un diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa-efecto, es muy útil para identificar y comprender las posibles causas de problemas o defectos en los procesos de producción de la línea 2.

Dicho esto, el diagrama de Ishikawa muestra lo siguiente: identificación del problema, en este caso, el que se detecta es la baja de eficiencia en la línea de producción 2.

Se utiliza las categorías de las 6M" (mano de obra, método, material, máquina, medio ambiente, medición) con las cuales se clasifican las causas de la siguiente forma: IONOS Cloud S.L.U. (2025).

Figura 2.8: Ejemplo de diagrama de Ishikawa



Fuente: concepto, 2025

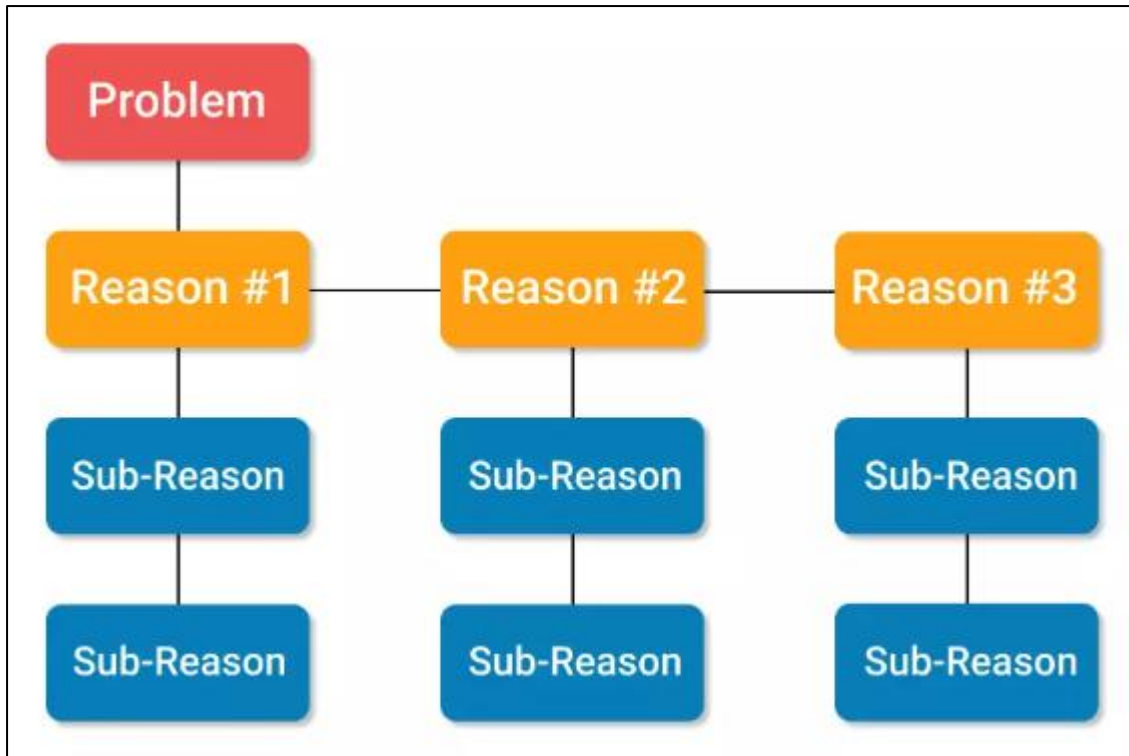
Tomado de <https://concepto.de/diagrama-de-ishikawa/>

2.1.10 Los 5 porqués

Los problemas imprevistos pueden ocurrir en cualquier equipo o proceso. Sin embargo, son tan solo síntomas de causas más profundas. Una solución rápida a un problema puede ser conveniente, sin embargo, esta no protege el proceso de trabajo de errores recurrentes. Es por ello que el equipo debe enfocarse en encontrar la causa raíz y abordarla adecuadamente.

La técnica de los 5 porqués es una de las herramientas más efectivas para el análisis de causa raíz dentro del arsenal de Lean Management. En su trabajo diario cada equipo enfrenta obstáculos. Sin embargo, usar los 5 porqués ayudará a encontrar la causa raíz de cualquier problema y a proteger el proceso de errores y fallas recurrentes.

Figura 2.9: Ejemplo de los 5 porqués



Fuente: businessmap, 2025

Tomado de <https://businessmap.io/es/gestion-lean/mejora-continua/los-5-porques-herramienta-de-analisis>

2.1.11 Multivoto

Este es un proceso sencillo y bien estructurado que se utiliza para elegir de entre una lista de elementos, causas, ideas, etc., los que son más significativos y lo que se cree que tengan más impacto. La cantidad de elementos a elegir se reduce, y permite al grupo o equipo centrarse y trabajar de manera directa en las opciones más seleccionadas (Aiteco Consultores, 2019).

Figura 2.10: Ejemplo de multivoto

TABLA MULTIVOTO

EJEMPLO DE TABLA DE VOTO DE UN MIEMBRO

Errores	1	2	3	4	5
Incompleto		X			
Equivocado	X				
Quebrado-ajado			X		
Bolsas rotas	X				
Mal entarimado				X	
Lugar incorrecto					X

1 de mayor importancia y 5 de menor importancia

ING. JORGEACUÑA, Ph.D. 19

Fuente: SlidePlayer, 2025

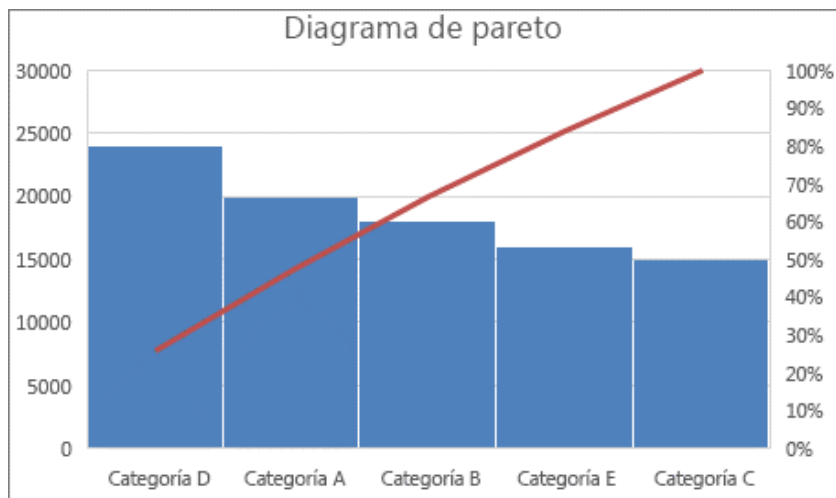
Tomado de https://slideplayer.es/slide/158000/#google_vignette

2.1.12 Diagrama de Pareto

Un diagrama de Pareto es un ejemplo especial de diagrama de barras. Las barras se ordenan por conteos de frecuencia, del más alto al más bajo. Se usa a menudo para identificar áreas en las que centrarse primero en la mejora de procesos (JMP. Statistical Discovery, 2024).

Dichos diagramas se basan principalmente en la regla del 80/20: el 80% de las fallas se derivan del 20% de las causas (Microsoft, 2024).

Figura 2.11: Ejemplo de diagrama de Pareto



Fuente: Microsoft, 2025

2.1.13 Benchmarking

El *Benchmarking* es un método utilizado en la gestión empresarial y la mejora continua, incluida la comparación de los procesos, productos o servicios de las organizaciones con empresas líderes en la industria o en áreas similares. Su propósito es identificar las mejores prácticas, analizar sus ventajas y utilizar su estrategia para optimizar el rendimiento y la competitividad. Implica una recopilación de datos, el análisis de brechas de rendimiento y las mejoras basadas en los modelos exitosos que se han demostrado.

Figura 2.12: *Benchmarking*



Fuente: Martínez, 2014

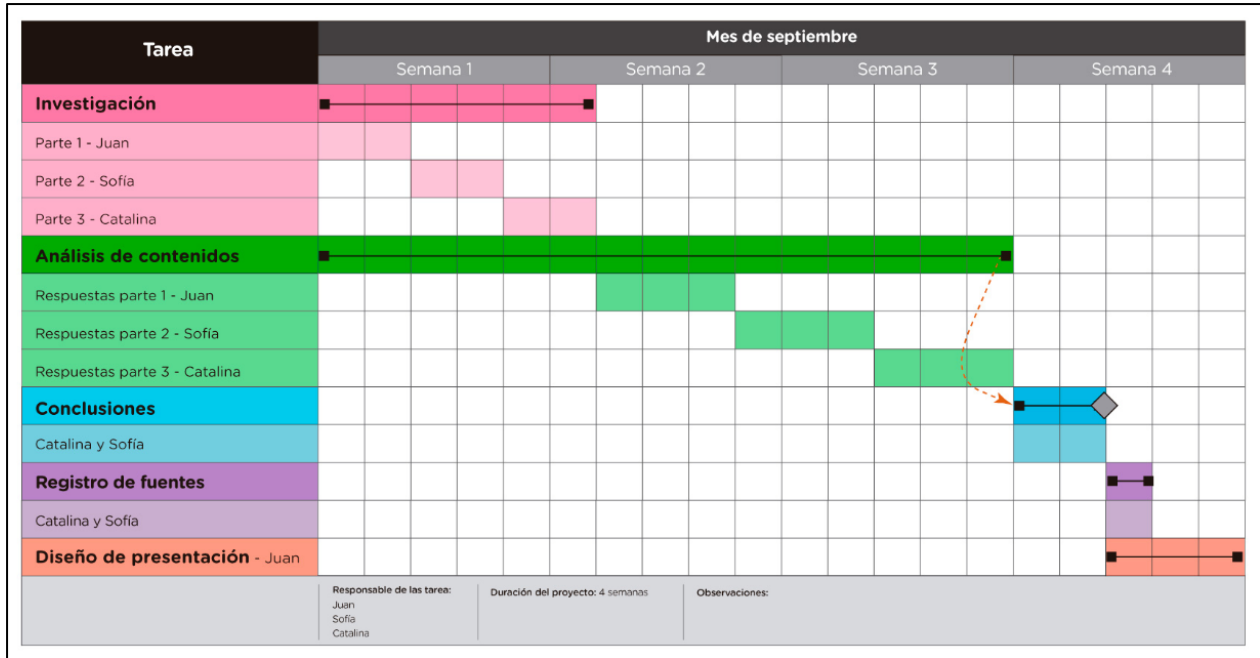
Tomado de https://blog.comunicae.es/benchmarking_mejorar_rendimiento_empresa/

2.1.14 Diagrama de Gantt

De acuerdo con Martins (2025), "el diagrama de Gantt, muy usado en la gestión de proyectos, es un gráfico de barras horizontales que se usa para ilustrar el cronograma de un proyecto, programa o trabajo".

Facilita llevar un control de las tareas, los avances, y revisar los progresos, para tomar decisiones si alguna actividad no avanza como debería.

Figura 2.13: Ejemplo diagrama de Gantt



Fuente: Concepto, 2025

Tomado de <https://concepto.de/diagrama-de-gantt/>

2.1.15 Retorno de la inversión (ROI)

De acuerdo con Tuneu, P. (2024), “El retorno de la inversión es una métrica que evalúa la rentabilidad de una inversión en relación con su costo.”

La fórmula principal para calcular las ganancias de la inversión es (ganancias totales - costos de inversión) / costos de inversión multiplicado por cien. Este resultado se muestra en forma de porcentaje, asegurando una idea clara de eficiencia financiera.

Figura 2.14: Fórmula para calcular el ROI

$$\text{ROI} = \frac{\text{Beneficio obtenido neto}}{\text{Coste de la inversión}} \times 100$$

Fuente: BBVA, 2024

Tomado de <https://www.bbva.com/es/salud-financiera/roi-que-es-el-retorno-de-la-inversion-y-cual-es-su-formula/>

2.1.16 Gemba Walk

El Gemba Walk es una herramienta que permite observar y aprender de los procesos. Son caminatas que hacen en las líneas de manufactura para visualizar las actividades y procesos, y comprenderlos. Además, fomenta una cultura de mejora continua que involucra a todos los equipos de trabajo.

Se puede implementar en diversas fases de la metodología DMAIC: Definir, Analizar y Controlar. Debido a que una caminata en las líneas de manufactura no es algo que se debe hacer solo una vez, es una buena práctica que algunas empresas implementan al menos mensualmente.

2.2 IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA

MediTech es una empresa de manufactura de dispositivos médicos, fundada en 1993, en Utah, los Estados Unidos, por el ingeniero Brad Brown.

2.2.1 VISIÓN / MISIÓN

La visión y misión de la empresa son las siguientes:

Visión

"Proteger y mejorar continuamente las vidas inspirando una innovación que impulsa un cambio positivo en la atención médica, ofreciendo los más altos estándares de calidad, seguridad y resultados para los pacientes." (MediTech., 2024).

Misión

" Asociarse con las principales empresas de dispositivos médicos del mundo y acelerar el desarrollo y la fabricación de dispositivos médicos innovadores." (MediTech, 2025).

2.2.2 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

MediTech comenzó como una empresa de conectividad de dispositivos médicos y su fundador, Brad Brown, un ingeniero con amplia experiencia en la industria del cable, creó la visión de una empresa donde los ingenieros pudieran trabajar en contacto directo con los clientes.

Así nació la filosofía "Engineer to Engineer" (ingeniero-ingeniero), la cual considera que los ingenieros de MediTech trabajan en colaboración con los ingenieros de los clientes de MediTech, buscando minimizar las brechas de conocimiento, mejorar los tiempos de respuesta y también comprender mejor las necesidades de los clientes, porque la empresa siempre intenta asignar ingenieros para hacer eso: conocer el tema.

Y así, en 1993, nació MediTech, en Utah, como una pequeña empresa que con el paso de los años se expandió por todo el mundo. Actualmente, la empresa cuenta con oficinas

en China, Costa Rica, Cardiff, Utah, y una oficina de ventas en Taiwán. Este desarrollo es estratégico, con el objetivo de llegar a clientes comerciales en la mayoría de los continentes del mundo, empezando por los más importantes.

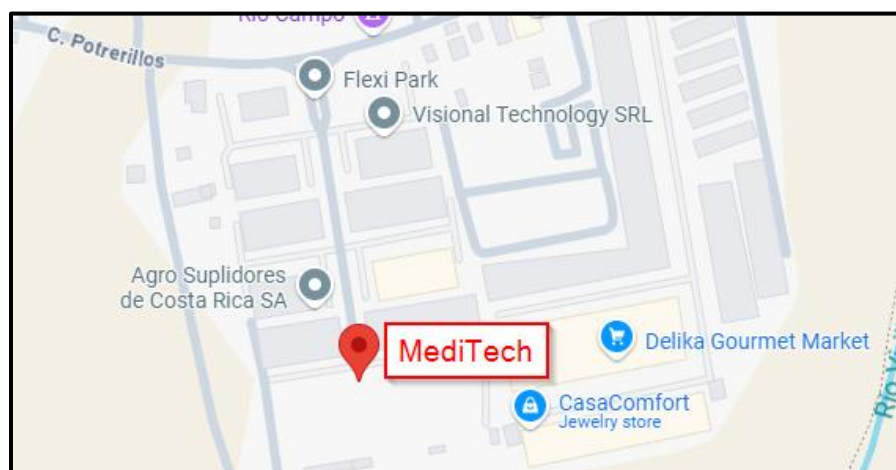
MediTech comenzó como una pequeña empresa que fabricaba conectores y cables y poco a poco pasó a hacer los llamados "dispositivos completos" en la categoría de "dispositivos desechables" o "dispositivos desechables completos". " Y así, en 2015, equipos dedicados comenzaron a desarrollar este tipo de dispositivo para clientes que necesitaban su desarrollo.

MediTech cuenta ahora con algunas de las empresas más reconocidas del mundo en su cartera de clientes, lo que ha tenido un impacto positivo en el crecimiento de la empresa. En Costa Rica, MediTech inició operaciones en 2013 y espera incrementar sus inversiones en los próximos años.

2.2.3 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La empresa está en la Zona Franca FlexiPark, en San Rafael de Alajuela, Calle Potrerillos.

Figura 2.15: Mapa satelital de MediTech

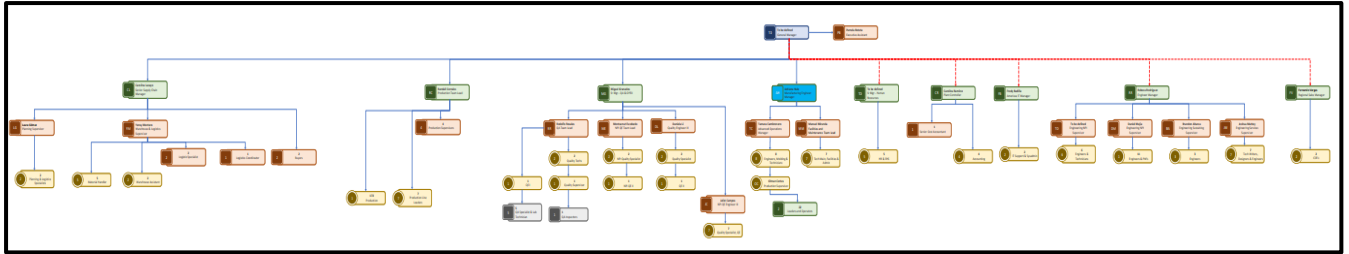


Fuente: Google Maps, 2025

2.2.4 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

El organigrama de la empresa se muestra a continuación:

Figura 2.16: Organigrama de MediTech



Fuente: RR.HH. MediTech, 2024

2.2.5 CANTIDAD DE EMPLEADOS

La cantidad de empleados por área se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 2.1: Cantidad de empleados por área

Puesto o Área	Cantidad
Administrativos	30
Calidad	15
Ingeniería	50
Producción	200
Total	295

Fuente: MediTech, 2024

2.2.6 TIPOS DE PRODUCTOS

Los productos ofrecidos por MediTech se describen a continuación:

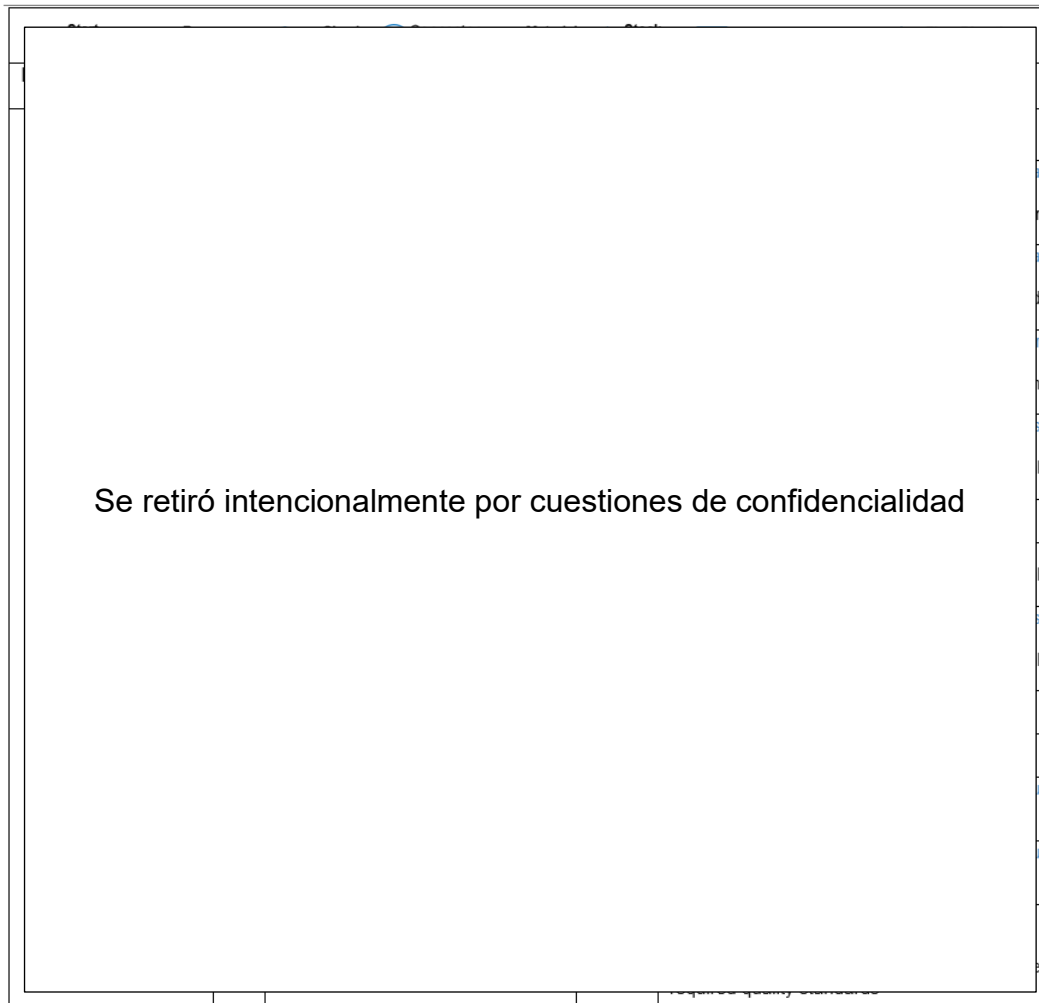
- Equipos de imagen por catéter en el campo de la urología
- Conectores para equipos médicos
- Piezas plásticas para diversas aplicaciones como transporte de fluidos, extrusión de tubos, etc.

2.2.7 MERCADO DE EXPORTACIÓN

El mercado de MediTech se basa en todas las grandes corporaciones de manufactura de dispositivos médicos, así como pequeñas empresas que desean surgir en esta área de negocio.

2.2.8 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO PRODUCTIVO

Figura 2.17: Flujo de proceso de la línea Wires



Fuente: MediTech, 2024

Como muestra el diagrama anterior, el producto pasa por diferentes estaciones, pero la estación que el estudio evaluará será la 07 (Ensamble de Housing), que es donde se realiza un proceso de engomado, el cual toma entre dos y cuatro horas.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El enfoque planteado para este estudio es mixto; se adopta un análisis que combine datos de producción, lo cual alimenta el enfoque cuantitativo con entrevistas a los operarios, para obtener un entendimiento más profundo de los factores que contribuyen en el proceso de engomado.

3.2 MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación se basa en la metodología DMAIC y se detalla a continuación:

Definir

- **Árbol de CTQ:** se implementa al revisar las especificaciones requeridas del cliente en el producto, enfocado en lo que el proceso de engomado ayuda a obtener, para entender que cualquier alternativa de proceso debe dar un resultado similar o igual.
- **Diagrama SIPOC:** brinda una ayuda visual de cómo el proceso de engomado interactúa con el resto de los procesos hasta llegar al cliente.
- **Project Charter:** al ser el documento esencial en el establecimiento de un proyecto, ayuda a establecer los límites y alcances de esta investigación.
- **Análisis FODA:** evalúa cómo está constituido el proceso de engomado y cómo se podría mejorar.
- **Diagrama de flujo:** permite entender de manera visual cómo está constituida la línea de manufactura "Wires", en qué sección de la línea el proceso de engomado interactúa y cuáles otros procesos impacta.

Medir

- **Tiempos de procesos:** como se desea evaluar la duración del proceso de engomado, el estudio de tiempos y movimientos dará el promedio que este tarda.
- **Histograma:** se graficarán los tiempos tomados del proceso de engomado, para evaluar la consistencia, o si hay piezas que se salen de los rangos.

Analizar

- Lluvia de ideas: al entender cómo está constituido el proceso de engomado, esta permite ver el punto de vista de diversas personas y fuentes de información, para generar la mayor cantidad de comentarios o ideas que podrían afectar el proceso.
- Diagrama Ishikawa: ayuda a ordenar las ideas que surgieron y clasificarlas como contribuyente o como no contribuyente al problema que se está investigando.
- Los 5 porqués: posibilita reflexionar y profundizar en las posibles causas raíz del problema.
- Multivoto: las personas tienen la capacidad de votar o elegir las opciones y, además, de elegir más de una opción y evaluar las preferencias de la votación.
- Diagrama de Pareto: se puede visualizar gráficamente los factores más significativos en un proceso. Utiliza la regla de 80/20, que establece que aproximadamente el 80% de los efectos que provienen del 20% de las causas.

Mejorar

- Benchmarking: se comparan otras organizaciones y mejores prácticas de estas para evaluar cuáles podrían beneficiar la línea de manufactura.

Controlar

- Diagrama de Gantt: ayuda a crear una línea de tiempo donde las mejoras podrían ser implementadas.
- Retorno de la inversión (ROI): es una métrica para evaluar la rentabilidad, la eficiencia de las inversiones.
- Gemba Walk: es una buena práctica adoptada por muchas empresas, la cual permite revisar el proceso de engomado para determinar posibles nuevas mejoras o alternativas no se analizadas antes.

3.3 FUENTES DE INFORMACIÓN

3.3.1 Sujetos de información

Los sujetos de información serán las personas objeto de estudio; se les conoce como población o universo. Según Barrantes (2014), “la población: conjunto de elementos que tienen características en común [...] Pueden ser finitas o infinitas” (p. 135).

El siguiente Project Charter ofrece una explicación clara del alcance del proyecto, los entregables y los beneficios del estudio.

Figura 3.1: Project Charter

Project Charter	
Objetivo del Proyecto	Evaluación del proceso de engomado en la empresa Meditech para la línea de manufactura Wires, con el fin de buscar alternativas que ayuden a reducir el tiempo de proceso.
Entregables	<ol style="list-style-type: none">1. Definir los factores que hacen al proceso de engomado tener tiempos tan elevados.2. Medición de los impactos que tiene el proceso de engomado en la línea de manufactura.3. Proponer alternativas que permitan al proceso reducir el tiempo.
Caso de Negocios	<p>¿Porque se está haciendo esto?</p> <ul style="list-style-type: none">• Este proyecto permitirá entender el impacto que tiene la línea de manufactura al tener un proceso con tiempos altos, y como buscar soluciones alternativas podrían ayudar a reducirlo, y que se necesitaría para poder implementarlos.
Beneficios, Costos, y Presupuesto	<p>Beneficios:</p> <ul style="list-style-type: none">• Reducción del tiempo de proceso de engomado.• Aumentar la productividad. <p>Costos:</p> <ul style="list-style-type: none">• Nuevas máquinas, nuevos moldes, nuevo diseño, validaciones. <p>Presupuesto Necesitado:</p> <ul style="list-style-type: none">• \$100,000.00
Equipo de Proyecto	<p>Patrocinador de Proyecto: Jefe de Operaciones</p> <p>Líder de Proyecto: Julio Suarez</p> <p>Equipo del Proyecto: Ingeniero de Manufactura, Ingeniero de Procesos, Técnico de ingeniería, Líder de Manufactura, Operarios</p>

Fuente: elaboración propia, 2025

3.3.1 Fuentes primarias

En la recolección de datos primarios para el análisis del problema, se realizan mediciones directas en la línea de producción, entrevistas al personal operativo y de ingeniería. Las fuentes son propias y originales; incluyen los resultados obtenidos de cada una de las actividades mencionadas.

3.3.1 Fuentes secundarias

Las fuentes secundarias en este estudio son todas las encontradas en sitios web, libros, artículos, y documentos científicos, o tesis, además de las herramientas ingenieriles detalladas en el marco teórico.

3.4 VARIABLES DE ANÁLISIS

Caracterizan la relación con los objetivos específicos del estudio. Trabajan en el inicio de una investigación, ya que se deben medir, controlar, y analizar el proyecto.

Tabla 3.1: Variables de la investigación por objetivo específico

Objetivo específico	Variable	Definición conceptual	Operacionalización	Instrumentalización
Definir los factores que influyen directamente en el proceso de engomado, que hacen que su tiempo sea el ya establecido.	Factores	El análisis de los factores que contribuyen en el proceso de engomado implica identificar y entender las variables que afectan directamente la duración de esta etapa en la fabricación del producto.	Permite medir y analizar cada factor de manera objetiva, proporcionando datos concretos que facilitarán la identificación de oportunidades de mejora en el proceso de engomado.	Árbol CTQ Diagrama SIPOC Project Charter Análisis FODA Diagrama de flujo
Medir el impacto productivo en la línea de manufactura al tener un proceso de engomado de 2 a 4 horas.	Impacto productivo	La medición del impacto productivo en la línea de manufactura está orientada a la evaluación cuantitativa y cualitativa de cómo la variación en el tiempo del proceso de engomado, de 2 a 4 horas, afecta la eficiencia, capacidad y rendimiento de la producción.	Este estudio permitirá evaluar de manera objetiva cómo la variación en el tiempo del proceso de engomado afecta la producción, la eficiencia y los costos dentro de la línea de manufactura.	Tiempos de procesos Histograma
Analizar alternativas de proceso que ayuden a reducir el tiempo de engomado.	Alternativas	El análisis de las alternativas del proceso implica la evaluación sistemática de diferentes métodos, tecnologías o modificaciones operativas que puedan ayudar a optimizar el proceso de engomado, con el objetivo de reducir su duración sin comprometer la calidad del producto.	Analizar las alternativas de proceso para determinar cuál es la más eficiente y viable en la reducción del tiempo de engomado sin comprometer la calidad del producto.	Lluvias de ideas Diagrama de Ishikawa Los 5 porqués Multivoto Diagrama de Pareto

<p>Proponer mejoras adicionales que ayuden reducir el tiempo de unión de las piezas plásticas "Carcasas".</p>	<p>Mejoras</p>	<p>La propuesta de mejoras adicionales consiste en la identificación y desarrollo de estrategias, metodologías o innovaciones que optimicen el tiempo de unión de las piezas plásticas "Carcasas".</p>	<p>Proponer las mejoras que eficientemente ayuden a reducir los tiempos de unión de las piezas plásticas.</p>	<p>Benchmarking Diagrama de Gantt Retorno de la Inversión (ROI) Gemba Walk</p>
---	----------------	--	---	--

Fuente: elaboración propia, 2025

3.5 INSTRUMENTOS

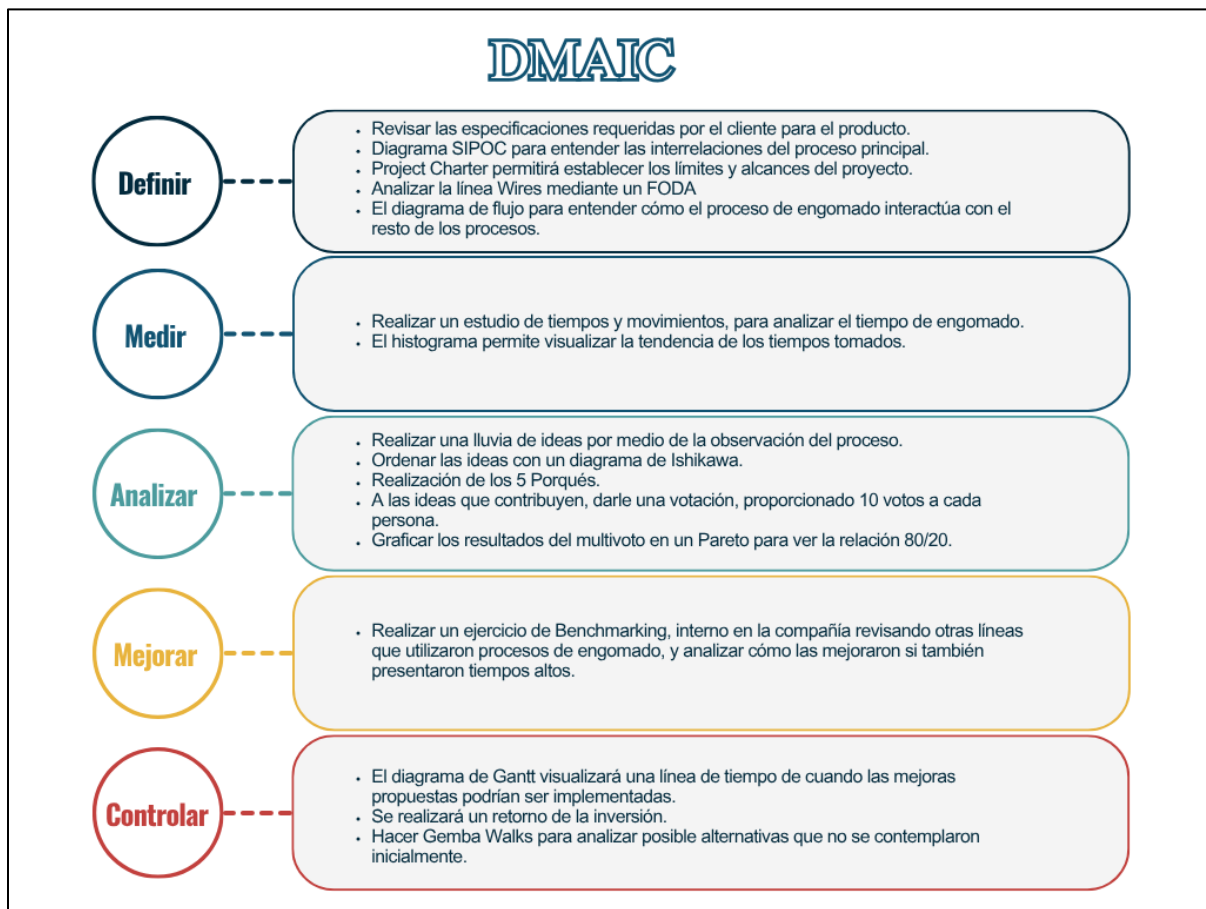
Para recopilar información: observar, entrevistar y las herramientas, se utilizan en el estudio. Además, las herramientas más utilizadas se han descrito en detalle en la investigación.

3.6 PROCESO PARA LA RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

El proceso metodológico consiste en desarrollar el proyecto y que cumpla con un orden para su la elaboración.

El análisis de la información recopilada proporciona una evidencia concisa para el investigador que busca viabilidad y fiabilidad de los datos. El estudio se basa en la metodología DMAIC, representada a continuación con un resumen de las actividades.

Figura 3.2: Descripción utilizada de la metodología DMAIC en cada etapa del ciclo



Fuente: elaboración propia, 2025

3.6.1 Descripción de la situación actual

Para el desarrollo de la situación actual del ciclo DMAIC, se emplean las primeras tres fases:

- **Definir:** una investigación del proceso actual, buscando la información en el Departamento de Producción, para encontrar alternativas que puedan mejorar el proceso de engomado. Es vital determinar los requerimientos más importantes para el cliente, utilizando un árbol de CTQ.

De este modo, con un diagrama de SIPOC, se puede entender cómo se relacionan las actividades principales del proceso. Una vez definidos esos criterios, con la creación de un Project Charter se buscará delimitar los límites y alcances del proyecto, para así, por medio de un FODA, determinar los puntos fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que pueda presentar la línea, y el diagrama de flujo posibilita entender cómo los procesos interactúan.

- **Medir:** para optimizar el proceso de engomado en la fabricación del producto “Wire Connector”, se realiza un estudio de tiempos y movimientos, con el objetivo de analizar la duración de cada etapa del proceso y detectar posibles ineficiencias. El estudio permite identificar variaciones en el tiempo de aplicación del adhesivo, así como factores que influyen en la productividad, tales como la técnica de aplicación, la capacitación del operario y las condiciones del entorno. Para complementar este análisis, se utiliza un histograma, que facilita la visualización de la distribución y tendencia de los tiempos medidos. Con esta herramienta estadística, se determina si los tiempos siguen un patrón predecible o si presentan variaciones significativas, para tomar decisiones informadas sobre mejoras en el proceso, reducción de tiempos improductivos y optimización de recursos, contribuyendo así a un flujo de producción más eficiente y estandarizado.
- **Analizar:** en procura de identificar oportunidades de mejora en el proceso de engomado, se lleva a cabo una lluvia de ideas basada en la observación directa

del proceso. Esta metodología permite recopilar aportes del equipo de trabajo, considerando factores que afectan el tiempo y la eficiencia del engomado. Posteriormente, las ideas generadas se organizan utilizando un diagrama de Ishikawa y los 5 porqués, que facilitan la identificación de causas raíz relacionadas con el problema. A continuación, se implementa un multivoto, asignando 10 votos a cada participante para priorizar las ideas que tienen mayor impacto en la mejora del proceso. Finalmente, los resultados del multivoto se representan en un diagrama de Pareto, que aplica el principio 80/20, para enfocarse en las soluciones que generen el mayor beneficio con el menor esfuerzo. Esta metodología garantiza un análisis estructurado y basado en datos para la toma de decisiones.

3.6.2 Desarrollo de las propuestas

- **Mejorar:** para identificar oportunidades de optimización en el proceso de engomado, se lleva a cabo un ejercicio de *Benchmarking* interno, analizando otras líneas de producción dentro de la misma compañía, que han implementado procesos similares. Este análisis permite comparar metodologías, identificar mejores prácticas y evaluar estrategias previamente aplicadas para reducir tiempos de engomado. Se revisan aspectos clave como el tipo de adhesivo utilizado, las condiciones del entorno, la automatización de procesos y la capacitación del personal. Además, se analiza si estas líneas enfrentaron problemas similares de tiempos elevados y las soluciones implementadas para optimizar el desempeño. Con esta información, se podrá adaptar y aplicar mejoras validadas dentro de la empresa, asegurando una reducción efectiva en los tiempos de engomado y un incremento en la eficiencia operativa.
- **Controlar:** para garantizar una planificación estructurada y efectiva en la implementación de las mejoras propuestas en el proceso de engomado, se utiliza un diagrama de Gantt, el cual permitirá visualizar una línea de tiempo detallada con las fases y fechas estimadas para la ejecución de cada mejora. Además, se realiza un análisis del retorno de la inversión (ROI), evaluando el costo-beneficio de las soluciones planteadas para asegurar que los recursos sean invertidos de

manera eficiente y generen un impacto positivo en la producción. Complementando este análisis, se lleva a cabo Gemba Walks, donde el equipo observa el proceso en su entorno real para identificar posibles alternativas de mejora que no fueron contempladas inicialmente. Esto permite un enfoque más dinámico y basado en la realidad operativa, asegurando que las decisiones tomadas optimicen los tiempos de engomado, de manera sostenible y efectiva.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DEFINIR

Es muy importante que el equipo de producción analice los factores que pueden estar directamente relacionados con el tiempo del proceso actual de engomado, que dura de dos a cuatro horas. Esta evaluación permite comprender las razones para crear tales cambios en el proceso esperado. Además, esto le permite predecir un posible impacto en la planificación y el cumplimiento de los objetivos de producción. Por lo tanto, este análisis se convierte en una herramienta importante para tomar decisiones estratégicas.

4.1.1 Árbol de CTQ

Con el análisis del árbol de CTQ (Critical to Quality), se identificaron los requerimientos más relevantes para mejorar la calidad y eficiencia del proceso de engomado en la fabricación del producto "Wire Connector". Dicho análisis parte de un objetivo principal: la disminución del tiempo de engomado, lo cual es un impacto directo en la productividad, calidad del producto y costos del proceso.

El árbol de CTQ está dividido en tres ramas fundamentales:

1. Disminuir el tiempo de ciclo del proceso de engomado:

Para lograr una mejora en la eficiencia operativa, se establece como meta reducir el tiempo promedio de engomado por pieza, actualmente estimado en 7200 segundos, y controlar la variabilidad del proceso, que oscila entre 2 y 4 horas. Esta variabilidad representa una ineficiencia significativa que impide una programación precisa de la producción.

2. Asegurar la calidad del engomado:

Reducir tiempos no debe comprometer la calidad del producto. Por ello, se busca evitar retrabajos y reprocesos por fallas de engomado, asegurando que el porcentaje de defectos se mantenga por debajo del 5%, como se establece en los estándares internos de calidad. Esto permite mantener la confianza del cliente y evitar desperdicios.

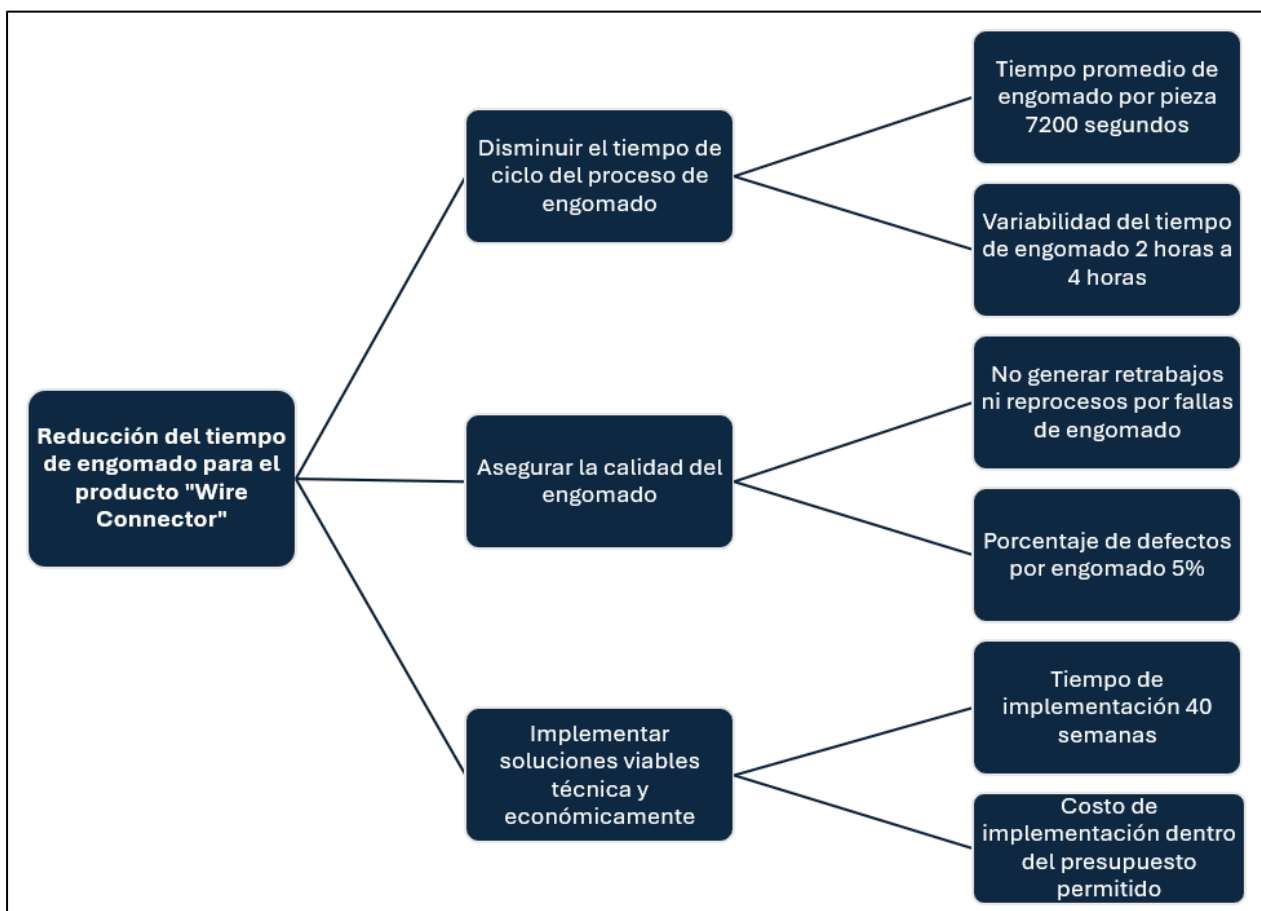
3. Implementar soluciones viables técnica y económicamente:

Cualquier propuesta de mejora debe considerar la viabilidad técnica y económica. Se ha establecido un plazo de implementación de 40 semanas, y las alternativas seleccionadas

deben mantenerse dentro del presupuesto aprobado. Esto garantiza la sostenibilidad del proyecto dentro de las limitaciones operativas.

El análisis CTQ permite al equipo de mejora continua enfocarse en los aspectos críticos del proceso de engomado, alineando los esfuerzos técnicos con los objetivos estratégicos de la empresa. Además, proporciona una base sólida para priorizar acciones, justificar inversiones y medir resultados de forma objetiva.

Figura 4.1: Árbol de CTQ, proceso de engomado



Fuente: elaboración propia, 2025

4.1.2 Diagrama SIPOC

Para entender de una forma integral el proceso de engomado del producto "Wire Connector", se emplea la herramienta ingenieril SIPOC, la cual permite mapear de una

forma estructurada los elementos claves del proceso: proveedores (*Suppliers*), entradas (*Inputs*), proceso (*Process*), salidas (*Outputs*) y clientes (*Customers*). Esta herramienta es esencial para identificar áreas de mejora, comprender las relaciones entre las etapas del proceso y alinear los objetivos de calidad con las expectativas del cliente.

Proveedores (*Suppliers*)

En la etapa inicial del análisis se identifican como proveedores clave aquellos proveedores de materia prima, encargados del suministro de componentes y adhesivos esenciales para el proceso. Además, participa el equipo de ingeniería de procesos, que diseña y estandariza los parámetros del engomado, así como los operadores y técnicos, quienes ejecutan el proceso en planta. Estos actores tienen un gran impacto directo en la calidad y eficiencia del proceso de engomado, ya que una falla en el suministro o en la ejecución puede provocar cuellos de botella, desperdicios o productos no conformes.

Entradas (*Inputs*)

Las entradas principales al proceso incluyen los componentes del producto, los adhesivos o materiales para engomado y los equipos utilizados para aplicar dichos materiales. La calidad de estas entradas es crítica. Por ejemplo, una variabilidad en el tipo de adhesivo o un equipo que no mantiene una dosificación constante podría afectar tanto el tiempo de curado como la adhesión final del producto. Es necesario asegurar que cumplan con especificaciones técnicas consistentes para reducir variabilidad y facilitar la estandarización del proceso.

Proceso (*Process*)

El proceso de engomado incluye la recepción de componentes, la preparación del área de trabajo, y la evaluación de los procesos actuales. Esta etapa es el núcleo del análisis, ya que en ella ocurren los principales problemas detectados: tiempos de ciclo extensos, retrabajos por fallas de adhesión de la goma, y uso de prácticas no estandarizadas. Evaluar detalladamente esta etapa permite identificar desperdicios y proponer soluciones bajo metodologías como Lean Manufacturing o Six Sigma. Además, se observa una alta

dependencia del criterio del operador, lo cual introduce subjetividad y variabilidad en los resultados.

Salidas (*Outputs*)

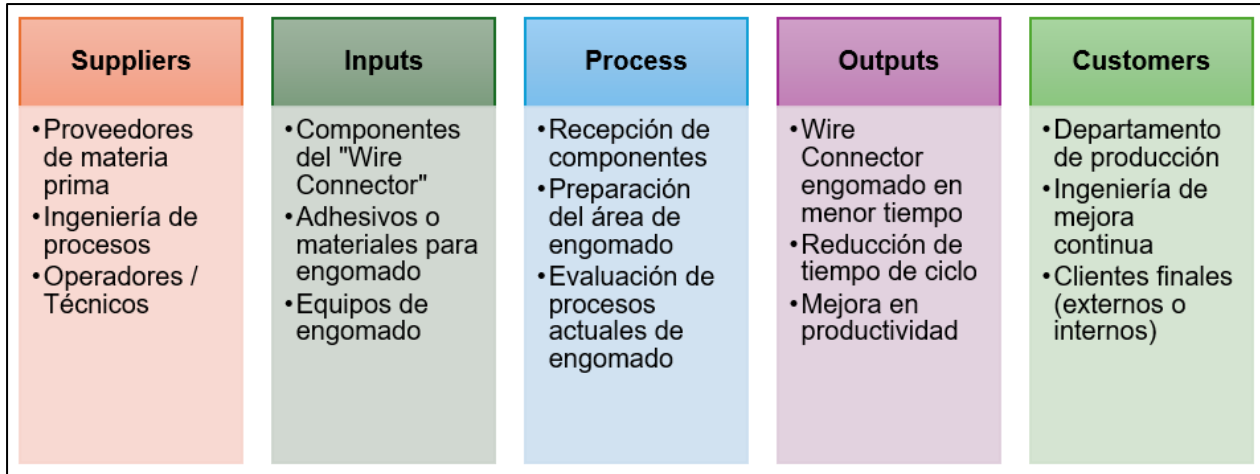
Entre los resultados esperados del proceso están la entrega de un “Wire Connector” engomado correctamente y en menor tiempo, lo que representa una mejora directa en productividad y eficiencia operativa. Asimismo, uno de los objetivos más importantes es lograr una reducción en el tiempo de ciclo, aspecto crítico identificado en el árbol de CTQ. Estas salidas deben ser medibles y alineadas con indicadores de desempeño como el porcentaje de defectos, el tiempo promedio de proceso y la cantidad de reprocesos.

Clientes (*Customers*)

Los clientes del proceso incluyen áreas internas y externas. Internamente, el Departamento de Producción depende de un proceso de engomado eficiente para mantener el ritmo de ensamblaje. Por otro lado, el equipo de ingeniería de mejora continua utiliza la información del proceso para diseñar mejoras y aplicar soluciones sostenibles. El cliente final, ya sea interno o externo, exige un producto que cumpla con estándares de calidad y funcionalidad, lo que implica que el proceso de engomado debe garantizar uniones fuertes, duraderas y visualmente aceptables.

Este análisis SIPOC proporciona una visión estructurada del proceso de engomado y permite detectar oportunidades de mejora en cada uno de sus elementos. A través de este enfoque, es posible alinear las estrategias de mejora con las necesidades del cliente, enfocarse en la eficiencia de recursos y reducir variabilidades que comprometan la calidad del producto final. Este diagnóstico integral será la base para implementar acciones correctivas y preventivas, que permitirán una optimización sostenible del proceso.

Figura 4.2: Diagrama SIPOC, proceso de engomado



Fuente: elaboración propia, 2025

4.1.3 Análisis FODA

Para diseñar estrategias de mejora en el proceso de engomado del producto "Wire Connector", se aplica la herramienta de análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas). Este análisis permite comprender el entorno interno y externo del proceso de engomado, así como identificar factores que pueden influir positiva o negativamente en su rendimiento. A partir de este diagnóstico, es posible orientar decisiones que favorezcan la eficiencia, la calidad y la competitividad del proceso productivo.

Fortalezas

El proceso de engomado cuenta con fortalezas claves que representan ventajas internas para su mejora. En primer lugar, el conocimiento técnico del proceso por parte del equipo operativo e ingenieril permite abordar problemas desde una base sólida de experiencia. Esta fortaleza es fundamental al implementar metodologías de mejora continua como Lean o Six Sigma. En segundo lugar, se destaca que el personal está capacitado y posee experiencia práctica, lo cual reduce la curva de aprendizaje ante nuevos métodos o tecnologías. Finalmente, el compromiso del equipo de mejora continua favorece una cultura organizacional proactiva y abierta al cambio, lo cual es esencial para implementar transformaciones en los procesos sin generar resistencia significativa.

Oportunidades

En el entorno externo, se identifican diversas oportunidades que pueden ser aprovechadas para mejorar el proceso. Entre ellas, destaca la disponibilidad de nuevas tecnologías y métodos de engomado, como aplicadores automáticos, sistemas de dosificación precisa y adhesivos de secado rápido. Además, existe posibilidad de establecer alianzas con proveedores de maquinaria avanzada, lo cual podría facilitar la adquisición de equipos que aumenten la eficiencia del proceso. Asimismo, la implementación de automatización representa una oportunidad concreta para reducir tiempos de ciclo, disminuir la variabilidad y mejorar la calidad del producto final. Estas oportunidades están alineadas con la necesidad de incrementar la competitividad y responder a las exigencias del mercado en términos de tiempo y calidad.

Debilidades

A pesar de las fortalezas internas, el análisis evidencia debilidades que deben ser abordadas con urgencia. La principal es que los procesos actuales son manuales o poco eficientes, lo cual genera cuellos de botella, retrabajos y prolonga innecesariamente los tiempos de ciclo. Esta condición se agrava debido a la alta dependencia del tiempo de secado del adhesivo, que introduce una variabilidad difícil de controlar. Asimismo, se identifica una falta de documentación estandarizada del proceso, lo que impide replicar buenas prácticas, capacitar de forma efectiva al personal nuevo y establecer indicadores de desempeño precisos. Estas debilidades internas deben ser superadas para permitir la implementación de mejoras sostenibles.

Amenazas

El proceso de engomado enfrenta diversas amenazas externas que pueden comprometer su competitividad. Una de las más relevantes es la presión de la competencia, que dispone de procesos más rápidos y automatizados. Esta situación obliga a mejorar el rendimiento del proceso interno para no perder posicionamiento en el mercado. Otra amenaza es el aumento en los costos de adhesivos o materiales, lo que impacta directamente en la rentabilidad. Adicionalmente, los plazos de entrega son cada vez más

exigentes, lo cual limita la tolerancia a retrasos o errores y demanda procesos más robustos y confiables.

Dicho análisis FODA revela una estructura organizacional con capacidades técnicas y humanas adecuadas para enfrentar los retos del proceso de engomado. Sin embargo, también evidencia la necesidad urgente de modernizar el proceso, reducir su dependencia de variables manuales, e implementar soluciones tecnológicas y organizacionales que permitan responder a las exigencias del mercado. Aprovechar las oportunidades tecnológicas y minimizar las debilidades internas será esencial para garantizar la sostenibilidad y competitividad del proceso en el mediano y largo plazo.

Figura 4.3: Análisis FODA, proceso de engomado



Fuente: elaboración propia, 2025

4.1.4 Diagrama de flujo

Es una de las herramientas más utilizadas en ingeniería de procesos para representar gráficamente la secuencia lógica de actividades o decisiones dentro de un sistema productivo. Permite visualizar el proceso de manera clara, ordenada y comprensible para todo el personal involucrado, desde operarios hasta ingenieros de procesos.

En el contexto de esta tesis, el diagrama de flujo cumple un papel fundamental para visualizar y comparar el proceso actual de engomado. Esta visualización no solo permite comunicar eficazmente un posible cambio, sino que también facilita la identificación de actividades que no agregan valor, ayudando en la toma de decisiones técnicas y económicas.

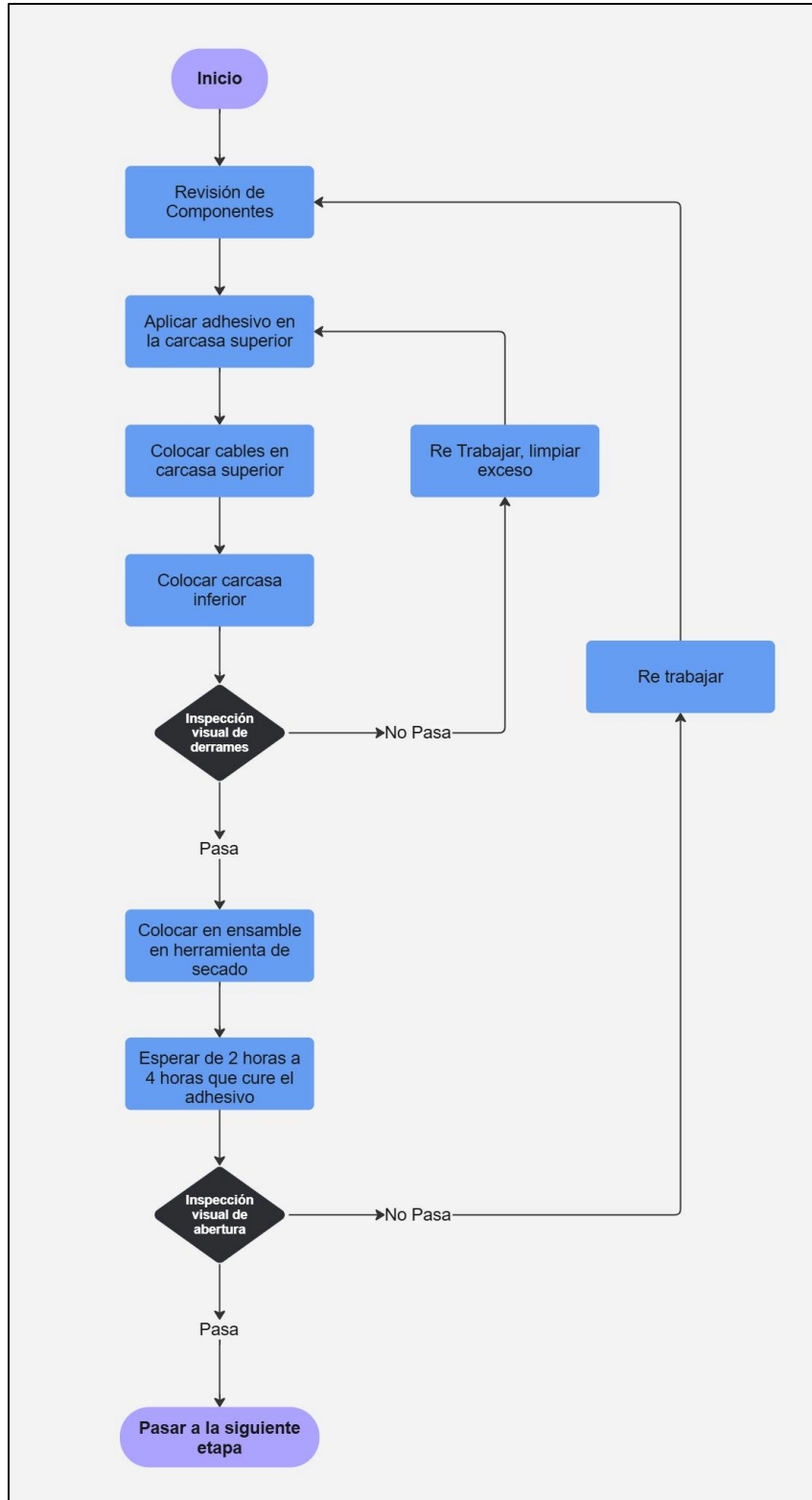
Además, un buen diagrama de flujo posibilita documentar el proceso, estandarizar las operaciones y servir como base para futuras auditorías de calidad o análisis de mejora continua. En la fase de "Controlar" de la metodología DMAIC, el diagrama de flujo revisado funciona como documento vivo, reflejando la nueva secuencia estandarizada de pasos y sirviendo como referencia para el entrenamiento de nuevos operarios o para la implementación de controles visuales.

Con respecto al proceso de engomado actual, dicho proceso conlleva una serie de pasos, después de que el producto pasa por el proceso de inyección de baja presión mostrado en la Figura 2.17, paso seis, es donde el proceso de engomado comienza. Los operarios deben revisar las carcasas previo a comenzar, debido a que, al ser piezas plásticas, pueden tener deformaciones o excesos de material en las orillas.

Si todos los componentes están en condiciones adecuadas, comienzan con la aplicación del adhesivo en la carcasa superior ya que es la carcasa que contiene los orificios donde el adhesivo es depositado, seguidamente se colocan los cables y se procede a cerrar con la carcasa inferior. Deben inspeccionar que al colocar la carcasa inferior no existan derrames visibles, de existir algún derrame, puede utilizar alcohol para limpiar el exceso.

Una vez pasada la inspección visual, las piezas se colocan a secar por dos y hasta cuatro horas, según la configuración del producto; al término de este tiempo existe otra inspección visual para determinar que durante este tiempo las piezas no se hayan abierto o tengan espacios abiertos en su contorno mayor a un milímetro. De ser rechazada la pieza, se puede re TRABAJAR, las carcasas pueden ser destruidas y utilizar carcasas nuevas, y comenzar todo el proceso nuevamente. Si la inspección pasa, el proceso puede continuar a la siguiente etapa según se describe en la Figura 2.17, paso ocho.

Figura 4.4: Diagrama de flujo



Fuente: elaboración propia, 2025

4.2 MEDIR

Medir los factores más influyentes en el proceso de engomado y la línea de producción es vital; el tiempo es uno de los factores que más se miden en las líneas de manufactura, debido a que el tiempo indica la duración de cada proceso.

4.2.1 Tiempos de procesos

Como parte fundamental del análisis del proceso de engomado del producto “Wire Connector”, se realiza una revisión detallada de cada una de las operaciones que conforman la línea de producción “Wires”. Esta evaluación tiene como objetivo identificar oportunidades de mejora en términos de eficiencia operativa.

Para lograr esto, se aplica una técnica de estudio de tiempos, midiendo la duración exacta de cada operación desde su inicio hasta su finalización. Es importante destacar que los tiempos registrados corresponden únicamente al tiempo efectivo de trabajo por pieza, es decir, desde que el operario comienza la operación hasta que la concluye. En esta medición no se incluyeron pausas por descanso, tiempos muertos, tiempos de espera, ni interrupciones por fallas. Esta delimitación permite obtener una visión clara y precisa del tiempo neto que cada actividad consume bajo condiciones normales de operación, sin distorsiones externas.

La información recolectada se presenta en la Tabla 4.1, donde se muestra el desglose de cada etapa del proceso y su respectiva duración. Esta tabla representa una herramienta clave para visualizar en qué actividades se concentra la mayor proporción del tiempo de ciclo y permite identificar cuellos de botella potenciales que afectan el rendimiento global de la línea.

Al observar cada operación, es posible detectar aquellas que tienen una alta variabilidad en su tiempo de ejecución, lo cual puede estar asociado a la falta de estandarización, el uso de herramientas manuales, o la dependencia de la habilidad del operario. Estas observaciones permiten establecer bases sólidas para proponer mejoras sustentadas en datos cuantitativos.

Otro aspecto relevante de este estudio de tiempos es que proporciona una línea base objetiva contra la cual se podrán comparar futuras implementaciones de mejora. Esto facilita el seguimiento del impacto de acciones como la automatización parcial, la implementación de estándares operativos, o la optimización de los métodos de trabajo. Asimismo, esta línea base también es útil para evaluar la carga de trabajo real de los operarios y para definir tácticas de balanceo de línea, asegurando una distribución equitativa del esfuerzo y una mayor fluidez en el proceso productivo.

La recopilación de tiempos por pieza también permite analizar la capacidad real de producción y estimar de forma más precisa el cumplimiento de los plazos de entrega. Esto cobra especial relevancia en un contexto donde los requerimientos del cliente exigen entregas más ágiles y donde la competitividad del mercado obliga a reducir costos sin sacrificar calidad.

La medición detallada de los tiempos de operación es una práctica esencial en cualquier iniciativa de mejora continua. En el caso del proceso de engomado del producto “Wire Connector”, esta medición representa el primer paso hacia la identificación sistemática de ineficiencias, sentando las bases para un rediseño de procesos más eficiente, estandarizado y sostenible en el tiempo. El siguiente paso será correlacionar estos datos con las causas raíz identificadas mediante otras herramientas de análisis, como el diagrama de Ishikawa, para priorizar acciones de mejora de alto impacto.

Tabla 4.1: Tiempos de la línea de producción Wires

Operación	Categoría	Minutos	Segundos
Soldar conector al PCBA	Soldado	2.55	153.00
Soldar cables al PCBA	Soldado	24.11	1446.60
Testeo eléctrico #1	Testeo	1.41	84.60
Moldeo de baja presión	Moldeo	2.02	121.20
Colocar hule protector	Ensamble	0.85	51.00
Engomado carcasas	Ensamble	2.22	133.20
Secado de proceso de engomado	Ensamble	120.00	7200.00
Testeo eléctrico #2	Testeo	1.41	84.60
Inspección visual	Testeo	0.88	53.00
Enrollado - empaque bolsa	Empaque	3.00	180.00
Empaque en la caja	Empaque	4.18	251.00

Fuente: elaboración propia, 2025

4.2.1 Gráficos de barras

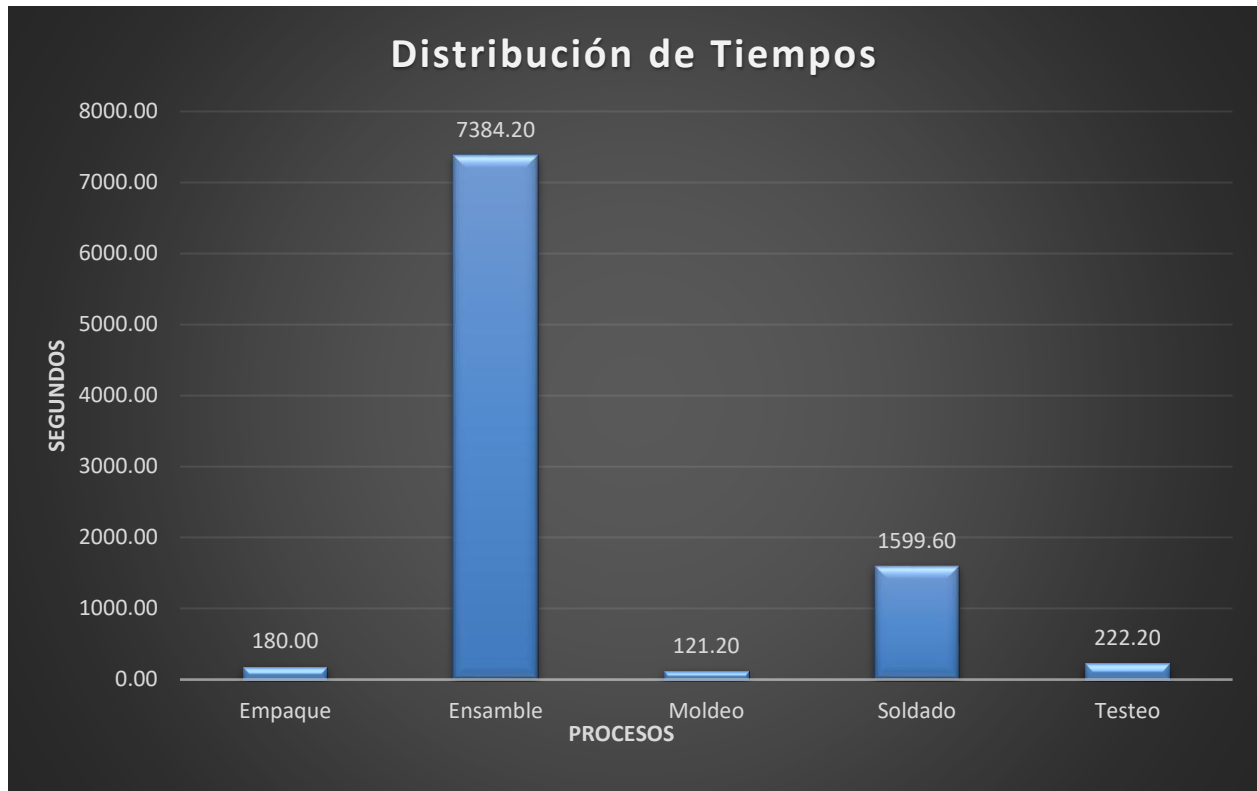
El siguiente gráfico permite analizar la distribución del tiempo dedicado a cada proceso dentro de la línea de manufactura. Dado que algunos procesos se repiten a lo largo de la producción, estos fueron agrupados con el objetivo de identificar con mayor claridad dónde se concentra la mayor inversión de tiempo operativo.

El proceso de engomado forma parte de la categoría de ensamble, su impacto en el flujo de producción es considerablemente alto. Esto se debe a que, una vez aplicado el adhesivo, las piezas deben someterse a un tiempo de espera obligatorio que oscila entre 7,200 y 14,400 segundos (equivalente a entre 2 y 4 horas), antes de continuar con las siguientes operaciones. Este periodo de espera representa un cuello de botella crítico en el proceso productivo, ya que impide el avance de las piezas hacia las etapas subsecuentes hasta que el adhesivo haya secado completamente.

Por otro lado, el proceso de soldado, que registra el segundo mayor tiempo de ejecución directa con 1,599.60 segundos, no genera una interrupción significativa en el flujo de trabajo comparable al proceso de engomado. En este sentido, aunque el tiempo de soldadura sea elevado, su naturaleza no representa una limitación tan severa para la productividad, como sí lo hace la espera asociada al secado del adhesivo.

Como resultado de esta restricción, la capacidad de producción diaria se ve fuertemente limitada. En condiciones normales de operación, considerando una jornada ordinaria y una plantilla de 12 operarios, únicamente se logran producir alrededor de 16 piezas por día, lo que se traduce en una producción semanal de cerca de 81 piezas. Este dato refleja el impacto directo de los tiempos de espera en la eficiencia global del sistema productivo y resalta la importancia de revisar o rediseñar el proceso de engomado para optimizar la capacidad operativa de la planta.

Figura 4.5: Gráfico de barras, proceso de engomado



Fuente: elaboración propia, 2025

4.3 ANALIZAR

A partir del análisis de la información obtenida durante la toma de tiempos y la identificación de los puntos críticos relacionados con la calidad, se diseñan diversas evaluaciones específicas. Estas evaluaciones permiten examinar con mayor profundidad los datos recolectados en el proceso. El objetivo es identificar oportunidades de mejora tanto en los tiempos de operación como en el control de calidad. Asimismo, se busca establecer relaciones entre los cuellos de botella y los posibles defectos observados. Esta aproximación integral facilita una visión más completa del desempeño del sistema productivo.

4.3.1 Lluvia de ideas

Como parte del enfoque del análisis en la línea de producción “Wires”, se recurre a una técnica cualitativa: la lluvia de ideas estructurada. Esta dinámica fue aplicada en sesiones con operarios de línea y personal técnico de manufactura, quienes, por su experiencia

directa con el proceso de engomado, representan una fuente invaluable de conocimiento práctico. La decisión de involucrar a estos colaboradores en el análisis del proceso responde al principio de que las mejores oportunidades de mejora suelen estar en manos de quienes ejecutan las actividades día a día.

La lluvia de ideas permitió generar un listado amplio de causas potenciales de demora, errores y retrabajos en el proceso de engomado. Las contribuciones de los participantes fueron registradas sin filtro inicial, con el objetivo de capturar la mayor cantidad de perspectivas posibles.

Este tipo de herramienta colaborativa no solo permitió identificar problemas que no siempre son evidentes desde los indicadores de rendimiento, sino que también sirvió para validar observaciones previas obtenidas en la medición de tiempos y en el análisis documental del proceso. Por ejemplo, varios operarios señalaron el uso de adhesivos de secado lento, lo cual coincide con las inconsistencias observadas en los tiempos de ciclo. Otros mencionaron la falta de automatización, y aplicación simultánea a múltiples piezas, todos ellos factores que impactan directamente la productividad.

Uno de los beneficios clave de este ejercicio fue la identificación participativa de oportunidades de mejora. Involucrar a los operarios y técnicos no solo permite detectar fallas, sino que también facilita la aceptación de futuras implementaciones. Las personas se sienten escuchadas y valoradas, y es más probable que colaboren activamente en la ejecución de cambios cuando han contribuido a definirlos. En este sentido, la lluvia de ideas también cumple una función estratégica como herramienta de gestión del cambio. Además, la colaboración entre operarios e ingenieros permitió construir una visión compartida del proceso. Mientras los operarios conocen los detalles operativos y desafíos cotidianos, los ingenieros aportan una perspectiva técnica y metodológica que ayuda a traducir los hallazgos en acciones concretas de mejora. Esta sinergia es fundamental para lograr propuestas viables desde el punto de vista técnico, económico y operativo.

La lluvia de ideas facilitada con operarios e ingenieros no solo aportó un valioso insumo cualitativo al análisis del proceso de engomado, sino que también fortaleció la cultura de mejora continua en la organización. Las causas recopiladas serán analizadas en profundidad en las siguientes etapas del estudio, particularmente al momento de priorizar acciones mediante herramientas como el diagrama de Pareto o la diagrama Ishikawa.

Figura 4.6: Lluvia de ideas, proceso de engomado



Fuente: elaboración propia, 2025

4.3.2 Diagrama de Ishikawa

El proceso de engomado, fundamental dentro de la línea de producción, ha sido identificado como un punto crítico debido al tiempo excesivo que implica su ejecución. Para comprender mejor los factores que podrían afectar directamente en esta problemática, se elaboró un diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa-efecto. Este instrumento permitió categorizar y visualizar de forma estructurada las

posibles causas que contribuyen al retraso en dicho proceso, agrupándolas en seis grandes categorías: mano de obra, máquinas, medición, método, materiales y medio ambiente.

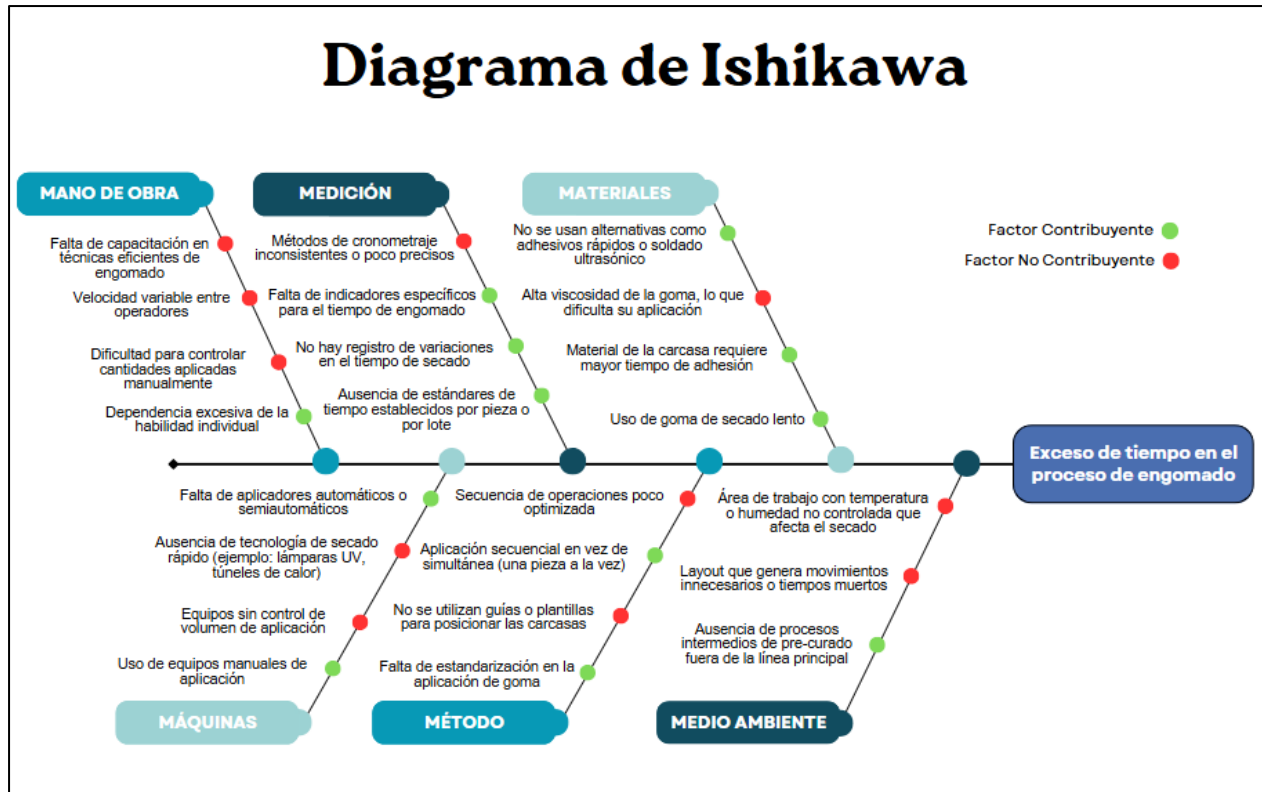
- **Mano de obra:** destacan factores como la falta de capacitación en técnicas eficientes de engomado, la variabilidad en la velocidad de trabajo entre operadores y la dependencia excesiva de la habilidad individual. Estos elementos reflejan una necesidad urgente de estandarización y formación, ya que la inconsistencia en el desempeño humano puede traducirse en tiempos ineficientes y errores repetitivos. Asimismo, la dificultad para controlar manualmente las cantidades aplicadas genera desviaciones que afectan directamente el tiempo y la calidad del proceso.
- **Máquinas:** se identifica como factor crítico la ausencia de tecnología para el secado rápido, como lámparas UV o túneles de calor. También se señala el uso de equipos manuales y la falta de control sobre el volumen de aplicación, lo cual contribuye a prolongar innecesariamente el tiempo de espera entre operaciones. La incorporación de aplicadores automáticos o semiautomáticos podría representar una solución viable para mitigar estos cuellos de botella y mejorar la productividad.
- **Medición:** evidencia la falta de indicadores específicos para el tiempo de engomado, así como la ausencia de estándares por pieza o lote. Además, se observa que no se realiza un registro preciso del tiempo de secado, lo que impide identificar patrones o desviaciones sistemáticas. Sin una medición adecuada, es imposible implementar mejoras sostenibles, ya que no se cuenta con una base cuantitativa para tomar decisiones informadas.
- **Método:** el análisis revela que la secuencia de operaciones no está optimizada y que se realiza una aplicación secuencial en lugar de simultánea, limitando la eficiencia operativa. También se evidencia una falta de estandarización en la aplicación de la goma y la ausencia de guías o plantillas para posicionar las piezas.

Estas deficiencias metodológicas generan tiempos muertos y retrabajos que podrían evitarse con rediseños en el flujo de trabajo.

- **Materiales:** se identifican problemas como la alta viscosidad de la goma utilizada, la cual dificulta su aplicación y alarga el tiempo de secado. Además, se utilizan materiales de carcasa que requieren mayor tiempo de adhesión y se ha identificado el uso de gomas de secado lento, lo que resulta en demoras significativas que afectan directamente la capacidad de producción diaria.
- **Medio ambiente:** factores como la temperatura o humedad no controladas en el área de trabajo inciden negativamente en el tiempo de secado. Asimismo, el *layout* actual genera movimientos innecesarios y tiempos muertos, y se carece de procesos intermedios de precurado fuera de la línea principal que podrían liberar espacio y tiempo en el flujo productivo.

En conjunto, este análisis multidimensional permite concluir que el exceso de tiempo en el proceso de engomado no responde a una sola causa, sino a la interacción de múltiples factores técnicos, humanos y organizacionales. La identificación de estos elementos críticos posibilita plantear propuestas de mejora específicas, tales como la automatización del proceso, la estandarización de métodos, la implementación de nuevas tecnologías de secado y la capacitación continua del personal. Solo mediante un enfoque integral será posible optimizar el proceso de engomado y, con ello, mejorar la eficiencia global de la línea de producción.

Figura 4.7: Diagrama de Ishikawa, proceso de engomado



Fuente: elaboración propia, 2025

4.3.3 Los 5 porqués

Dentro del análisis de mejora continua aplicado a la línea de producción, el proceso de engomado como un punto crítico debido al tiempo excesivo que demanda su ejecución. Esta situación afecta directamente la capacidad productiva diaria, incrementa los costos por unidad y limita la competitividad del producto en el mercado. Para llegar a la causa raíz de este problema, se utilizó la metodología de los 5 porqués, la cual permite descomponer de forma progresiva el problema, hasta identificar el origen estructural de la ineficiencia.

Como primer nivel, se plantea la pregunta:

¿Por qué el proceso de engomado toma demasiado tiempo? La respuesta inmediata se encuentra en el hecho de que el procedimiento actual es mayoritariamente manual, lo cual implica una aplicación individual pieza por pieza, sumada a un secado natural que puede extenderse hasta dos horas. Esto no solo genera largos tiempos de ciclo, sino

también una alta variabilidad entre operadores y una dependencia considerable de su destreza. Esta variabilidad se traduce en inconsistencias en el volumen aplicado, errores repetitivos y retrabajos, como también se refleja en la categoría de “mano de obra” del diagrama de Ishikawa.

El segundo porqué indaga más allá de lo operativo:

¿Por qué se realiza manualmente y hay alta variabilidad? Esto es debido a que no existen procesos estandarizados ni tecnologías de automatización implementadas. Cada operador aplica la goma conforme a su experiencia, sin el apoyo de guías físicas o sistemas automatizados de dosificación. A su vez, se carece de mecanismos de control sobre el tiempo y calidad del secado. Esta situación también está influenciada por factores de tipo “método” y “máquina”, donde se evidencian secuencias no optimizadas y la ausencia de herramientas modernas, como túneles de secado o aplicadores automáticos.

El tercer porqué nos lleva a cuestionar la falta de modernización:

¿Por qué no se han implementado tecnologías de automatización o secado rápido? La respuesta recae en la falta de datos e indicadores de desempeño del proceso. No se cuenta con métricas claras sobre tiempos por pieza, desviaciones por lote, ni patrones de variabilidad que permitan evidenciar con precisión el impacto económico del problema. Esta falta de visibilidad sobre el desempeño impide argumentar con solidez una propuesta de inversión para la mejora del proceso. Aquí se conecta claramente con la categoría de “medición”, donde se indica que no existen estándares por pieza ni registros sistemáticos del tiempo de secado.

El cuarto nivel del análisis plantea:

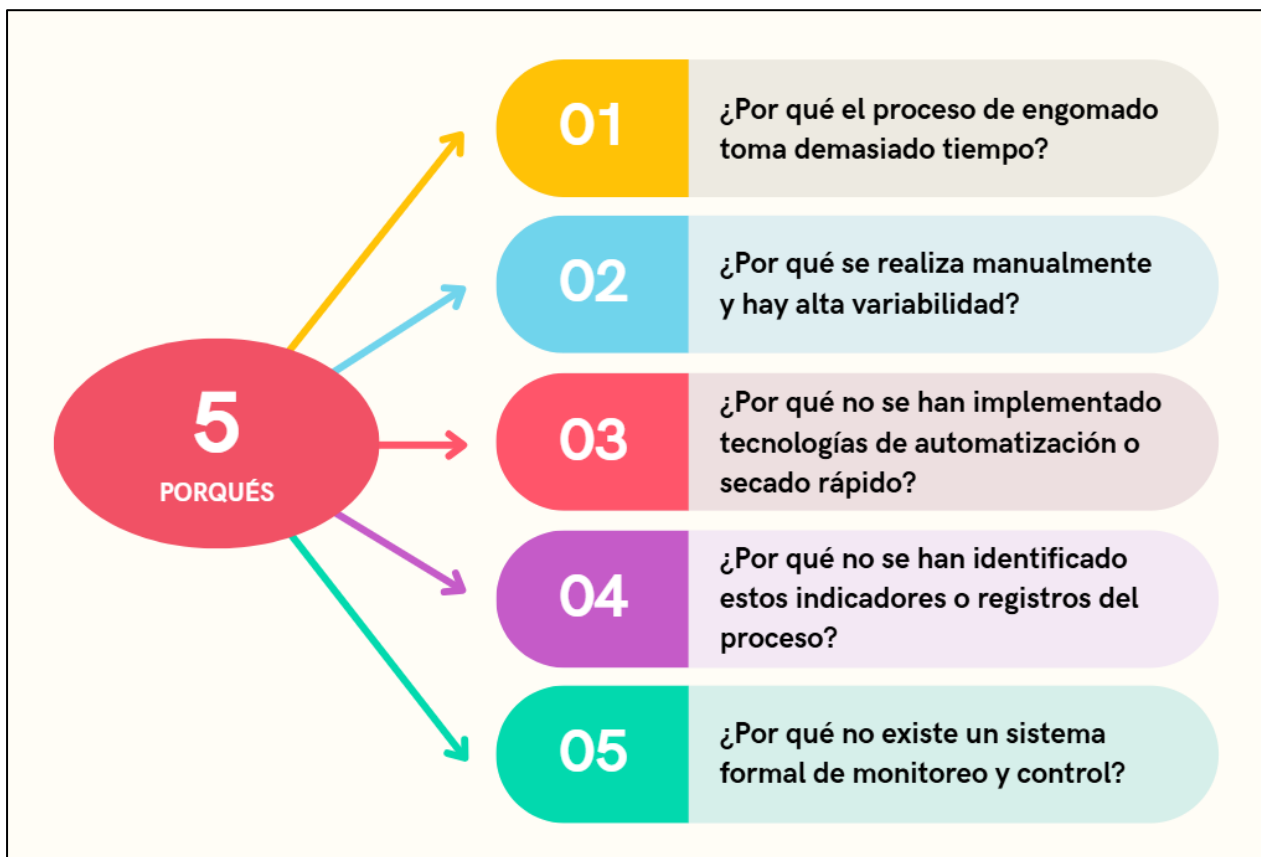
¿Por qué no se han identificado estos indicadores o registros del proceso? Esto se explica por la ausencia de un sistema formal de monitoreo y control del proceso de engomado. A diferencia de otras etapas más automatizadas del proceso productivo, el engomado ha sido tratado históricamente como una actividad secundaria o artesanal, lo que ha generado una baja priorización en términos de control estadístico y gestión de

datos. Tampoco se ha integrado el proceso dentro de esquemas de mejora continua ni auditorías internas específicas, lo que ha perpetuado su condición de punto ciego dentro del flujo de producción.

Como quinto porqué:

¿Por qué no existe un sistema formal de monitoreo y control? La causa raíz está en la falta de una cultura organizacional orientada a la estandarización, automatización y medición sistemática en todas las etapas del proceso productivo, incluyendo aquellas que han sido ejecutadas de forma manual. Esta deficiencia estratégica impide no solo detectar problemas de fondo, sino también justificar técnicamente las decisiones de inversión necesarias para transformar el proceso.

Figura 4.8: Preguntas de los 5 porqués



Fuente: elaboración propia, 2025

4.3.4 Multivoto

Como complemento al diagrama de Pareto y al diagrama de Ishikawa, se implementó la herramienta de multivoto con el fin de validar y profundizar el análisis de causas que generan retrasos en el proceso de engomado. Consiste en otorgar un número determinado de votos por parte de un grupo evaluador, distribuidos según el nivel de impacto percibido de cada causa. Así, se obtiene una priorización consensuada que facilita la toma de decisiones en la fase de mejora.

En este caso, participaron cinco personas con experiencia directa en el proceso, a quienes se les solicitó distribuir diez votos entre las causas identificadas, valorando de 1 a 10 en función del grado de criticidad. Los resultados muestran un total de 50 votos distribuidos, lo que permitió establecer un *ranking* claro de las causas más relevantes.

El análisis muestra que la causa con mayor puntuación total (8 votos) fue el uso de goma de secado lento, lo que confirma su impacto negativo ya evidenciado en los análisis previos. Esta causa recibió principalmente votos en niveles altos (3, 4 y 5), lo que refleja una percepción fuerte y compartida sobre su influencia directa en los tiempos muertos y los cuellos de botella del proceso. Al tratarse de una variable que determina la duración mínima de espera antes de continuar con operaciones posteriores, su mejora tiene un efecto multiplicador en la eficiencia general de la línea.

En segundo lugar, con 6 votos cada una, se posicionan dos causas críticas: la falta de aplicadores automáticos o semiautomáticos y la falta de estandarización en la aplicación de goma. Ambas apuntan a problemas estructurales en el método y en los recursos tecnológicos del proceso. La falta de automatización genera dependencia de la habilidad del operario, variabilidad en la aplicación y tiempos adicionales en la operación, mientras que la ausencia de estandarización impide lograr una calidad y duración constante en cada ciclo. Estos elementos afectan directamente la estabilidad del sistema productivo.

Una tercera causa con el mismo total (8 votos) fue la no utilización de alternativas tecnológicas como adhesivos rápidos o soldadura ultrasónica, destacando la falta de

innovación como una limitante estratégica. La implementación de nuevas tecnologías podría reducir significativamente los tiempos de secado y facilitar un flujo continuo. Esta causa también recibió votos en niveles altos, lo que sugiere que el equipo reconoce el potencial de mejora que representa adoptar soluciones técnicas más avanzadas.

A continuación, se ubican causas con una puntuación media de 4 votos como: la falta de indicadores específicos para el tiempo de engomado, la ausencia de estándares de tiempo por pieza o por lote, el uso de equipos manuales de aplicación y el material de la carcasa que requiere mayor tiempo de adhesión. Si bien estas causas no lideran el *ranking*, su presencia es significativa y refleja deficiencias en el sistema de medición y control, así como restricciones físicas del producto.

Finalmente, causas como la dependencia excesiva de la habilidad individual, la aplicación secuencial en vez de simultánea, la ausencia de procesos de precurado y la falta de registro de variaciones en el tiempo de secado, aunque obtuvieron entre 1 y 2 votos, deben considerarse en un segundo nivel de atención, ya que podrían agravar los efectos de las causas principales si no se gestionan adecuadamente.

En resumen, el método de multivoto ha permitido identificar, con el respaldo de quienes están involucrados de forma directa en el proceso, las causas más críticas que deben abordarse en primer lugar. El resultado no solo coincide con lo evidenciado por otras herramientas de análisis, sino que también aporta un componente participativo que fortalece el compromiso organizacional hacia la mejora. En este contexto, la prioridad debe centrarse en sustituir la goma de secado lento, automatizar el proceso de aplicación y establecer estándares operativos, para así reducir los tiempos de ciclo y aumentar la eficiencia productiva.

Tabla 4.2: Distribución de multivoto, proceso de engomado

Causas del Problema	Votaciones					Total
	1	2	3	4	5	
Uso de goma de secado lento	0	3	2	1	2	8
Falta de aplicadores automáticos o semiautomáticos	1	1	1	2	1	6
Falta de estandarización en la aplicación de goma	0	1	2	1	2	6
No se usan alternativas como adhesivos rápidos o soldado ultrasónico	5	1	0	1	1	8
Falta de indicadores específicos para el tiempo de engomado	1	0	1	0	2	4
Ausencia de estándares de tiempo establecidos por pieza o por lote	1	0	1	2	0	4
Material de la carcasa requiere mayor tiempo de adhesión	1	0	1	1	1	4
Uso de equipos manuales de aplicación	1	2	0	1	0	4
Ausencia de procesos intermedios de pre-curado fuera de la línea principal	0	0	1	0	0	1
Dependencia excesiva de la habilidad individual	0	1	0	1	0	2
Aplicación secuencial en vez de simultánea (una pieza a la vez)	0	1	0	0	1	2
No hay registro de variaciones en el tiempo de secado	0	0	1	0	0	1
Total	10	10	10	10	10	50

Fuente: elaboración propia, 2025

4.3.5 Diagrama de Pareto

Como parte del diagnóstico de los factores que contribuyen al excesivo tiempo del proceso de engomado, se elaboró un diagrama de Pareto con base en las principales causas identificadas. Esta herramienta permite priorizar acciones de mejora enfocándose en las causas más recurrentes, bajo el principio 80/20, que establece que un pequeño número de causas suele generar la mayoría de los efectos negativos.

En el gráfico de la Figura 4.7 se observa que las primeras cuatro causas representan el 56% de las ocurrencias totales, lo que las convierte en factores prioritarios para la mejora del proceso. Estas son: el uso de goma de secado lento, la no utilización de alternativas como adhesivos rápidos o soldadura ultrasónica, la falta de aplicadores automáticos o semiautomáticos y la falta de estandarización en la aplicación de goma. La coincidencia de estas causas con las categorías "materiales", "método" y "máquinas" del diagrama de Ishikawa confirma que los problemas están altamente ligados a la tecnología y al modo de ejecución del proceso.

El uso de goma de secado lento, con una ocurrencia del 16%, es la causa más frecuente. Esta situación genera tiempos de espera prolongados entre 2 y 4 horas, según los datos de observación que afectan el flujo productivo. Al no disponer de sistemas que aceleren el secado, como lámparas UV o adhesivos de curado rápido, la línea de producción permanece detenida, generando cuellos de botella. En consecuencia, se reduce la capacidad de producción diaria y semanal, impactando negativamente los indicadores de eficiencia.

Le sigue con igual frecuencia (16%) la no implementación de tecnologías alternativas, como adhesivos rápidos o procesos de soldadura ultrasónica. Esta falta de innovación impide mejorar los tiempos de ciclo y hace que el proceso de engomado dependa exclusivamente de métodos convencionales y obsoletos. Además, al no explorar otras opciones de unión, se limita la posibilidad de aplicar procesos más limpios, seguros y rápidos.

La falta de aplicadores automáticos o semiautomáticos (12%) y la ausencia de estandarización en la aplicación de goma (12%) contribuyen a la variabilidad del proceso. Esta combinación incrementa la dependencia de la habilidad del operario, genera inconsistencias en la calidad del producto final y ocasiona retrabajos o fallas. La estandarización es clave para reducir errores humanos y para lograr una repetibilidad efectiva en cada ciclo de producción.

Un segundo grupo de causas, aunque con menor impacto individual, también influye en la duración del proceso. Por ejemplo, la falta de indicadores específicos de tiempo, la ausencia de estándares por pieza o lote, y el uso de equipos manuales, todas con un 8% de ocurrencia, indican la necesidad de establecer un sistema de control del proceso más riguroso. Estas fallas dificultan el monitoreo y la mejora continua, ya que no permiten medir ni comparar el desempeño operativo con base en datos confiables.

Causas de menor frecuencia como la aplicación secuencial de piezas, la dependencia excesiva de la habilidad individual, y la ausencia de procesos de pre-curado fuera de la línea principal, aunque representan solo un 2% o menos, pueden amplificar los efectos negativos sí coinciden con las causas principales. Su atención puede quedar para una segunda fase del plan de mejora, una vez se aborden los problemas más críticos.

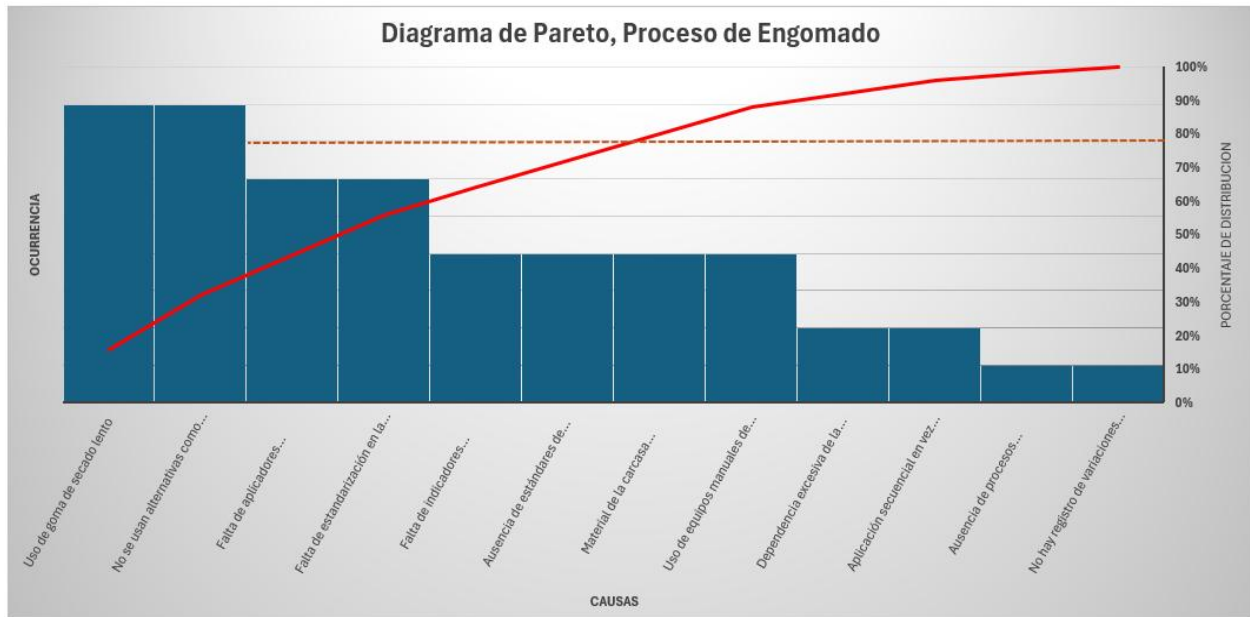
El análisis del diagrama de Pareto ofrece una evidencia clara de dónde deben concentrarse los esfuerzos de mejora. Atacar los cuatro primeros factores podría resolver más de la mitad del problema, elevando así la productividad del área de engomado. Este enfoque permite una toma de decisiones técnica, priorizada y efectiva, alineada con los principios de manufactura esbelta y mejora continua.

Tabla 4.3: Distribución de frecuencia, proceso de engomado

Causas del Problema	Ocurrencia	Frecuencia Acum.	Porcentaje	Porcentaje Acumulado
Uso de goma de secado lento	8	8	16.0%	16.0%
No se usan alternativas como adhesivos rápidos o soldado ultrasónico	8	16	32.0%	48.0%
Falta de aplicadores automáticos o semiautomáticos	6	22	44.0%	92.0%
Falta de estandarización en la aplicación de goma	6	28	56.0%	148.0%
Falta de indicadores específicos para el tiempo de engomado	4	32	64.0%	212.0%
Ausencia de estándares de tiempo establecidos por pieza o por lote	4	36	72.0%	284.0%
Material de la carcasa requiere mayor tiempo de adhesión	4	40	80.0%	364.0%
Uso de equipos manuales de aplicación	4	44	88.0%	452.0%
Dependencia excesiva de la habilidad individual	2	46	92.0%	544.0%
Aplicación secuencial en vez de simultánea (una pieza a la vez)	2	48	96.0%	640.0%
Ausencia de procesos intermedios de pre-curado fuera de la línea principal	1	49	98.0%	738.0%
No hay registro de variaciones en el tiempo de secado	1	50	100.0%	838.0%
		50		

Fuente: elaboración propia, 2025

Figura 4.9: Distribución de Pareto, proceso de engomado



Fuente: elaboración propia, 2025

4.3.6 Análisis del diseño de carcasas y aplicación del adhesivo

Uno de los elementos fundamentales para comprender el desempeño del proceso de engomado en la línea de producción del producto “Wire Connector” es el diseño actual de las carcasas y el método mediante el cual se aplica el adhesivo. El diseño de estas carcasas incluye cavidades superiores e inferiores, cuya geometría y disposición determinan directamente la forma en que se deposita la goma, específicamente el adhesivo Loctite 4011, en el punto de contacto entre las piezas. Estas cavidades se diseñan para alojar de manera precisa el adhesivo y asegurar un sellado óptimo una vez que las mitades de la carcasa se ensamblan.

La Figura 4.10 ilustra de una manera más clara estas cavidades, señaladas con círculos rojos. La presencia de estas cavidades representa un aspecto crítico del diseño, ya que permiten el direccionamiento controlado del adhesivo, evitando derrames, aplicación desigual o exceso de material, problemas que pueden afectar de forma negativa tanto el tiempo de secado como la calidad final del ensamble. Además, su existencia influye directamente en la necesidad de precisión durante la aplicación del adhesivo, aspecto

que ha sido abordado mediante la implementación de un equipo especializado: el Nordson Ultimius I-II High Precision Dispenser.

Este dispensador de alta precisión cumple la función de controlar con exactitud el volumen y la ubicación del adhesivo aplicado en cada cavidad. El uso de este equipo representa una mejora significativa respecto a métodos manuales, en particular cuando se busca reducir la variabilidad en el tiempo de aplicación y minimizar errores humanos. La dosificación exacta del Loctite 4011, un adhesivo ciano acrilato de curado rápido, es esencial para garantizar la calidad del ensamble, reducir desperdicio de material y asegurar la repetibilidad del proceso. A pesar de que el adhesivo es conocido por secado rápido, la naturaleza del diseño de las cavidades de las carcasas dificulta que el adhesivo pueda secar en un tiempo relativamente corto, lo cual influye a que el tiempo de curado sea de dos y hasta cuatro horas.

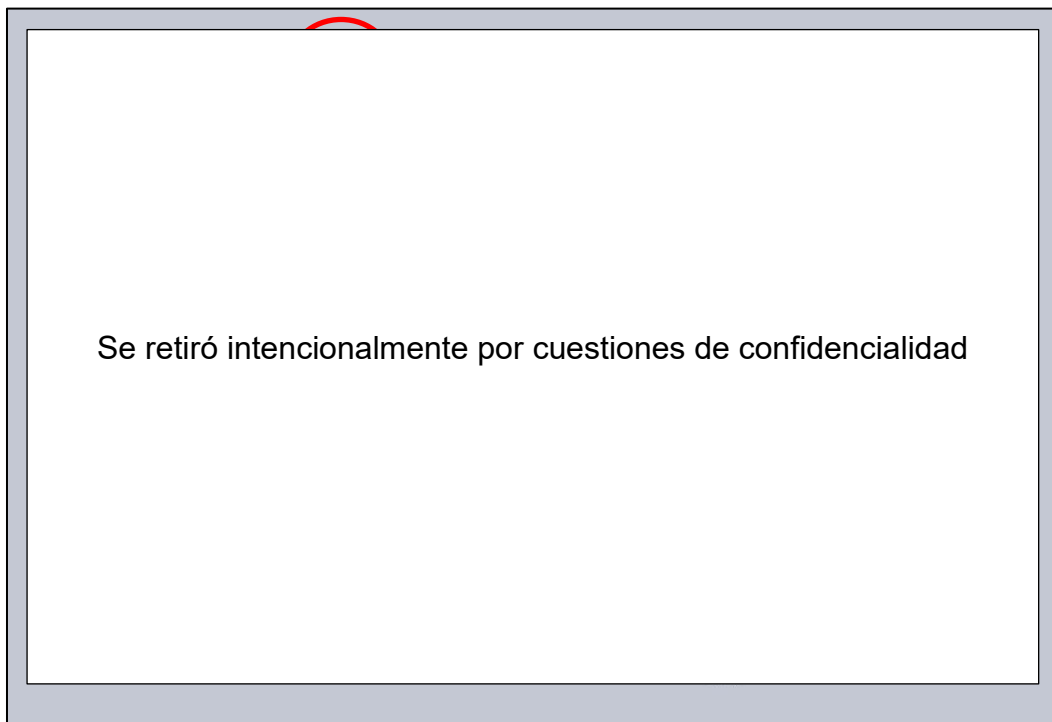
A pesar del empleo de tecnología de dosificación avanzada, se ha identificado otros desafíos en el proceso que requieren atención. Uno de ellos es la variabilidad en la forma en que el adhesivo fluye dentro de las cavidades, debido a factores como la viscosidad del producto, la temperatura ambiente y posibles obstrucciones en la boquilla del dispensador. Además, al tratarse de un proceso con dependencia de la configuración inicial del equipo, cualquier error en los parámetros programados (presión, tiempo de dosificación, volumen) puede provocar defectos en múltiples piezas antes de ser detectado.

Algunas configuraciones pueden influir directamente en el tiempo de curado, debido a que estas configuraciones están sujetas a la cantidad de cables que van dentro de las carcasas, a mayor cantidad de cables, mayor será el tiempo que le toma secar a las carcasas, lo cual impacta en el tiempo de ciclo. Es importante revisar el diseño de las cavidades, con el objetivo de simplificar la aplicación del adhesivo sin comprometer la función de sellado ni la integridad del producto.

Otro punto relevante es la compatibilidad entre el adhesivo utilizado (Loctite 4011) y los materiales de la carcasa. La elección de este adhesivo responde a sus propiedades de adhesión rápida y fuerte, sin embargo, su tiempo de secado puede variar si no se respetan las condiciones de humedad y temperatura recomendadas por el fabricante. Esto introduce un nuevo elemento de variabilidad que debe ser considerado en el análisis de tiempos del proceso de engomado.

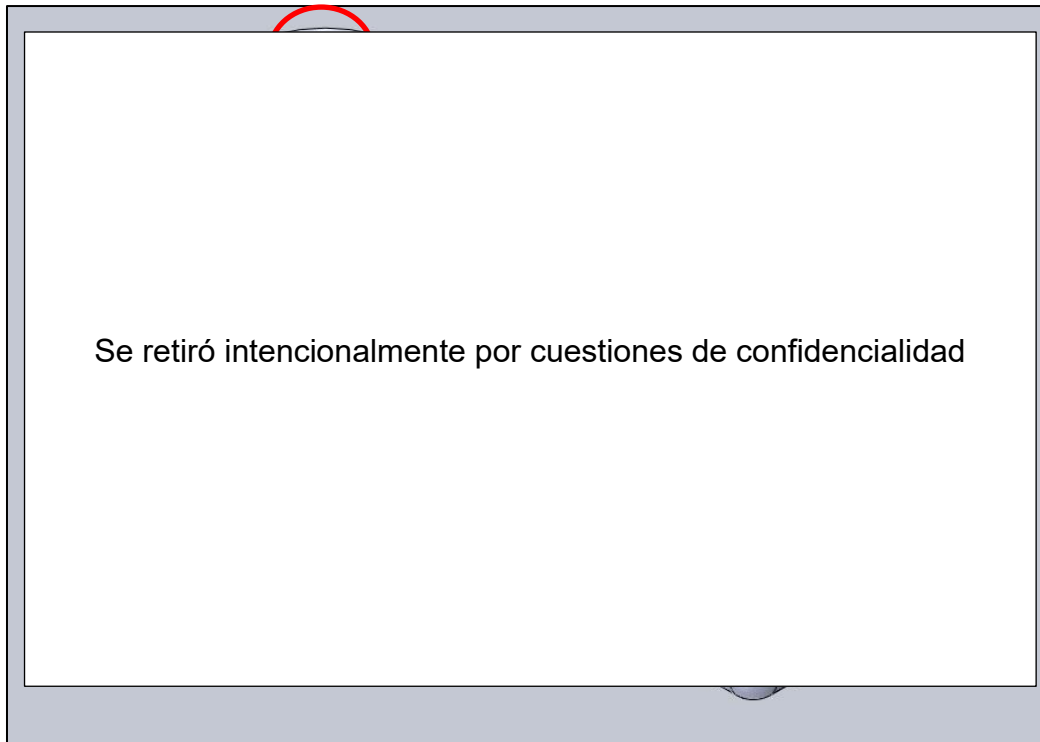
En conclusión, el diseño actual de las carcasas, junto con el método de aplicación del adhesivo mediante tecnología de dosificación de precisión, constituyen una parte crítica del proceso de engomado. Si bien se cuenta con herramientas adecuadas para garantizar la calidad del ensamble, es necesario evaluar posibles optimizaciones, tanto en el diseño de producto como en los parámetros del proceso, con el fin de reducir el tiempo de ciclo, mejorar la eficiencia operativa y mantener la consistencia en la aplicación del adhesivo.

Figura 4.10: Descripción gráfica de las carcasas, parte inferior



Fuente: tomado de la empresa MediTech, 2025

Figura 4.11: Descripción gráfica de las carcasas, parte superior



Fuente: tomado de la empresa MediTech, 2025

CAPÍTULO V. PROPUESTA

5.1 MEJORAR

En la fase de “Mejorar” del ciclo DMAIC, se definieron acciones específicas para abordar las causas prioritarias identificadas en el análisis de Pareto, el diagrama de Ishikawa y la evaluación por multivoto. La estrategia de mejora se centró en reducir los tiempos prolongados de secado en el proceso de engomado, optimizar la secuencia operativa y disminuir la variabilidad provocada por la dependencia de factores manuales. Como posibles soluciones, se propuso la incorporación de un proceso ultrasónico, así como el uso de un acelerante químico de curado compatible con el adhesivo actual (Loctite 4011), y diseño de cierres mecánicos lo que permitiría una reducción significativa en los tiempos de espera, pasando de un rango de 2 a 4 horas a tan solo segundos, sin comprometer la calidad de adhesión. Esta propuesta se complementa con la estandarización del método de aplicación de goma y el uso de plantillas o guías para asegurar uniformidad y repetibilidad en cada ciclo.

Paralelamente, se plantea implementar indicadores específicos para el tiempo de engomado y secado, así como establecer estándares de tiempo por pieza o por lote, de modo que el proceso sea más controlable y medible. Estas acciones no solo buscan incrementar la productividad y reducir los tiempos muertos, sino también establecer una base sólida para la mejora continua dentro del sistema de manufactura. La combinación de soluciones técnicas, operativas y de gestión forma parte integral del plan de mejora propuesto, el cual será validado mediante pruebas piloto y seguimiento de resultados.

5.1.1 *Benchmarking* interno

Como parte del análisis de oportunidades de mejora en la línea de producción “Wires”, se realizó un ejercicio de *benchmarking* interno, comparando esta línea con otra línea de producción dentro de la misma planta de Costa Rica, que utiliza el mismo adhesivo tipo Loctite 4011. El propósito fue identificar prácticas internas exitosas que pudieran replicarse para reducir el tiempo de curado sin comprometer la calidad del producto.

La línea “Wires” presenta un tiempo de curado de cerca de 7200 segundos (2 horas), mientras que la línea que se comparó, la cual por razones de confidencialidad se le llamara “Pegasus” logra tiempos de curado de 240 y 180 segundos, respectivamente en sus procesos de engomado. Esta diferencia se debe sobre todo a la presencia de acelerantes de curados, una mayor estandarización de los procedimientos, y un diseño muy distinto de las partes, lo que permite que la exposición a las temperaturas del ambiente mejore los tiempos de curado.

Además, se observó que las líneas con menor tiempo de curado presentan menores tasas de defectos por fallas de adhesión, lo cual indica que la optimización del tiempo de curado no impacta negativamente la calidad, sino que incluso la mejora.

Este análisis demuestra que existen oportunidades viables de mejora mediante la adaptación de prácticas ya exitosas dentro de la misma organización, lo que además facilita la implementación, al no depender de desarrollos externos ni cambios en los materiales.

5.1.2 Inclusión de acelerante para Loctite 4011

En el proceso de engomado analizado, se identificó como causa crítica el uso de goma de secado lento, lo que provoca tiempos de espera prolongados entre etapas y genera un cuello de botella que impacta directamente en la productividad general. Una alternativa técnica viable y comprobada es el uso de un aditivo acelerante de secado compatible con el adhesivo actual, Loctite 4011, con el fin de reducir de forma significativa los tiempos de curado, sin comprometer la calidad de la adhesión.

El Loctite 4011 es un adhesivo de ciano acrilato de curado rápido, formulado para materiales difíciles de unir como plásticos, elastómeros y metales porosos. Sin embargo, su desempeño óptimo depende de condiciones ambientales controladas (temperatura, humedad) y de características superficiales específicas, lo que en la práctica puede generar tiempos de curado más prolongados de lo esperado, en especial en procesos manuales o semicontrolados. Aquí es donde los acelerantes químicos juegan un rol clave.

Los acelerantes de curado (activadores), como el Loctite 7452 o el 770, son diseñados específicamente para actuar sobre superficies antes de aplicar el adhesivo, iniciando o acelerando la polimerización del Ciano acrilato en cuestión de segundos. Esto permite reducir de forma significativa el tiempo total de secado, pasando de rangos de 20–60 minutos a tan solo 20–40 segundos, dependiendo del sustrato y del ambiente. En un contexto donde se experimentan tiempos de espera de entre 2 y 4 horas, el uso de acelerantes representa una mejora potencialmente transformadora.

Desde el punto de vista técnico, estos aditivos podrían afectar solo un 25% la resistencia estructural de la unión si se aplican de acuerdo con las especificaciones del fabricante. La evidencia industrial demuestra que su uso es común en aplicaciones donde el tiempo de ciclo es un factor crítico, como líneas de montaje de componentes electrónicos, dispositivos médicos y sectores automotrices. Además, son compatibles con una amplia variedad de materiales, lo cual los hace idóneos para procesos de engomado que trabajan con carcasas plásticas o metálicas.

Implementar el uso de un acelerante para el Loctite 4011 puede traducirse en beneficios directos medibles:

- Reducción considerable del tiempo de espera por secado
- Incremento del número de piezas procesadas por jornada, pasando de 16 diarias a más de 268, sin modificar la capacidad instalada
- Mejora en la eficiencia operativa y reducción del WIP (*work in progress*)
- Disminución de variabilidad en el secado, al asegurar un curado más controlado y homogéneo.

Dicha implementación también trae ciertos retos y algunas desventajas:

- La resistencia al impacto sin acelerante es alta; con acelerante cambia a media o baja.
- La calidad estética se reduce, debido a que la aplicación del acelerante crea una capa blanca al reaccionar con el Loctite 4011.

Adicionalmente, esta mejora no requiere una reingeniería profunda del proceso ni grandes inversiones. La aplicación del acelerante puede integrarse a las estaciones de trabajo actuales mediante frascos dosificadores, aerosoles o dispositivos de preaplicación simples. Esto facilita una implementación rápida, económica y con bajo riesgo de resistencia operativa.

El uso de un aditivo acelerante para el adhesivo Loctite 4011 constituye una solución técnica viable y sustentada, que responde directamente a las causas críticas identificadas en el análisis. Su implementación permitiría una mejora sustancial en los indicadores de productividad del área de engomado, sin comprometer la calidad del producto ni exigir grandes modificaciones estructurales. Esta acción se recomienda como prioridad dentro del plan de mejora propuesto en esta investigación.

Figura 5.1: Loctite SF 7452



Fuente: Henkel Corporation, 2025

Tomado de <https://next.henkel-adhesives.com/us/en/products/industrial-adhesives/central-pdp.html/loctite-sf-7452/BP000000153559.html>

Figura 5.2: Loctite SF 770



Fuente: Henkel Corporation, 2025

Tomado de <https://next.henkel-adhesives.com/us/en/products/industrial-adhesives/central-pdp.html/loctite-sf-770/BP000000153555.html>

5.1.3 Proceso de *Snap Fit* (ensamble por encaje a presión)

Una de las propuestas de mejora más relevantes identificadas a lo largo de este estudio es la incorporación de cierres mecánicos tipo “Snaps Fit”, como alternativa funcional al uso exclusivo de adhesivos en el proceso de ensamble. Esta medida surge como respuesta directa a los tiempos excesivos asociados al curado del adhesivo (Loctite 4011), que puede generar esperas de hasta cuatro horas antes de permitir el paso a operaciones posteriores. Esta dependencia del curado químico no solo ralentiza la línea de producción, sino que también representa una limitación técnica que restringe la flexibilidad operativa y eleva los niveles de inventario en proceso.

Los cierres tipo “Snaps Fit” son mecanismos de ensamble a presión ampliamente utilizados en productos electrónicos, automotrices y de consumo masivo debido a su capacidad de asegurar piezas de forma confiable, rápida y sin necesidad de herramientas o materiales adicionales. Su inclusión en el diseño de la carcasa o componentes permite eliminar o reducir de forma significativa el uso de adhesivos, facilitando un ensamble inmediato y estandarizado. Esta solución no solo elimina los tiempos de secado, sino que

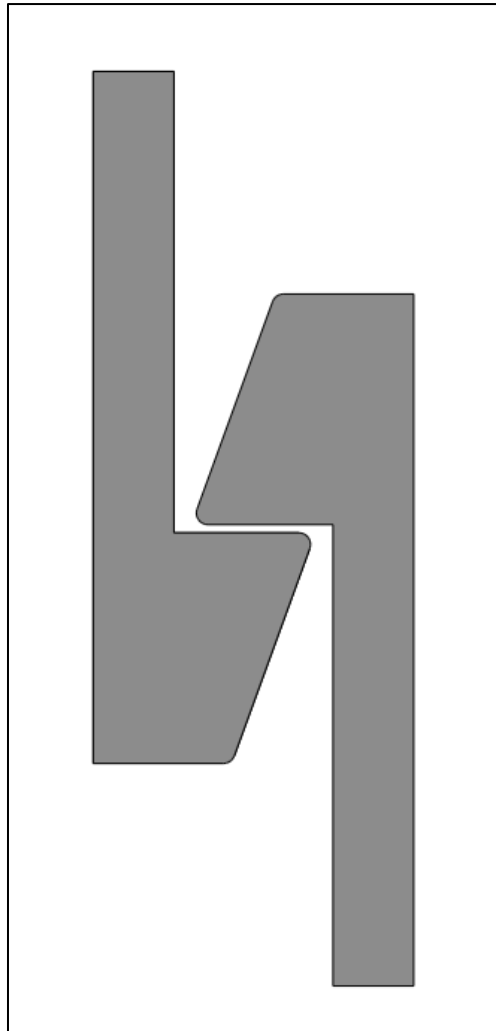
también reduce la dependencia de la habilidad individual del operario, un factor crítico identificado en el análisis de Ishikawa y en la matriz multivoto.

Desde el punto de vista de manufactura, los “Snaps Fit” permiten una mayor modularidad y eficiencia, al habilitar procesos de montaje más ágiles, reversibles y fácilmente verificables. A nivel de costos, si bien su implementación requiere una modificación inicial en el diseño de producto o los moldes de inyección, este gasto se amortiza rápidamente debido a la reducción en tiempos de ciclo, menor consumo de adhesivo, y eliminación de equipos de curado o procesos intermedios. Asimismo, la inclusión de estos cierres favorece un diseño más sostenible y reciclable, ya que facilita el desensamble para mantenimiento o reutilización de piezas, alineándose con principios de economía circular y diseño para desmontaje.

En términos de calidad, los “Snaps Fit” ofrecen una unión confiable cuando están correctamente dimensionados y aplicados, y pueden ser combinados con puntos de adhesivo para aplicaciones que requieran resistencia adicional o sellado hermético. Esta combinación híbrida mejora el rendimiento del producto final sin sacrificar tiempos productivos. Además, se puede implementar un sistema de inspección visual o funcional inmediato para verificar que las piezas hayan encajado correctamente, fortaleciendo el control de calidad en línea sin aumentar el tiempo de inspección.

Finalmente, desde la perspectiva del operador, los cierres tipo “Snaps Fit” representan una mejora ergonómica, al reducir la necesidad de manipulación fina o exposición prolongada a químicos, disminuyendo así el riesgo de errores, lesiones o fatiga. Esto promueve un entorno de trabajo más seguro y eficiente, compatible con prácticas de manufactura esbelta (*Lean Manufacturing*).

Figura 5.3: Ejemplo de *Snap Fit*



Fuente: elaboración propia, 2025

5.1.4 Propuesta sistema soldado ultrasónico

Una de las propuestas de mejora con mayor potencial de impacto en la productividad es la implementación de un sistema de soldado ultrasónico como sustituto del actual proceso de engomado con adhesivo tipo Loctite 4011. El análisis realizado a través del diagrama de Ishikawa, Pareto y multivoto reveló que uno de los factores más críticos que afecta los tiempos de producción es el largo período de curado del adhesivo, que puede variar entre 7200 y 14400 segundos (2 a 4 horas), dependiendo del material de la carcasa y las condiciones ambientales. Esta espera limita la fluidez del proceso y reduce significativamente la capacidad productiva de la línea, impactando de forma directa en los costos y en la capacidad de respuesta ante la demanda.

El soldado ultrasónico representa una alternativa muy eficiente que permite unir materiales termoplásticos mediante vibraciones mecánicas de alta frecuencia, generando fricción en la interfase de contacto, lo cual provoca el reblandecimiento localizado y la posterior fusión de las piezas sin necesidad de adhesivos, tornillos o calor externo. El principal beneficio de esta tecnología es que el tiempo de unión se reduce a fracciones de segundo, eliminando por completo los tiempos de espera por secado o curado, lo que se traduce en un incremento inmediato en la capacidad de producción. Además, el proceso es por completo automatizable, estandarizable y reproducible, lo que reduce la variabilidad entre operarios y mejora la calidad del ensamble.

Desde una perspectiva operativa, el soldado ultrasónico también aporta ventajas significativas en cuanto a la limpieza del proceso (no genera residuos ni requiere consumibles como adhesivos o aplicadores), y en la reducción del mantenimiento de equipos relacionados con el curado. El sistema puede integrarse fácilmente en estaciones de trabajo existentes, o bien instalarse en células automatizadas que incluyan verificación en línea y sistemas de control de parámetros críticos (presión, amplitud, tiempo), lo que aporta trazabilidad y mayor control del proceso. Esta tecnología es muy utilizada en industrias como la automotriz, médica y electrónica, donde se requiere alta precisión y ciclos de producción rápidos.

En términos de calidad, el soldado ultrasónico proporciona uniones mecánicas de alta resistencia, confiables y estéticamente limpias, sin riesgos de contaminación por adhesivo mal aplicado o errores humanos. Esta precisión mejora la uniformidad del producto y reduce la necesidad de retrabajos o inspecciones correctivas. Asimismo, al eliminar el uso de adhesivos químicos, se reducen los riesgos asociados a la salud del operario y se mejora la sostenibilidad del proceso, disminuyendo el uso de compuestos volátiles y facilitando el reciclaje de componentes.

Desde el punto de vista económico, si bien la inversión inicial en equipos de soldado ultrasónico puede ser significativa, los beneficios a mediano y largo plazo son ampliamente favorables. Se eliminan los costos continuos de adhesivo, aplicadores y equipos de curado, además de reducir la necesidad de espacio para almacenamiento en proceso. Además, al acortar drásticamente el tiempo de ciclo, se puede duplicar o triplicar la producción diaria sin aumentar la plantilla de operarios, lo que se traduce en una mejora directa de la eficiencia global del sistema productivo, además de que este proceso puede ser utilizado en otros productos lo cual ayudaría a compartir el costo de inversión y mejorando los rendimientos de producción.

Como conclusión, implementar el soldado ultrasónico como sustituto del proceso de engomado no solo elimina la principal causa de ineficiencia en la línea, sino que también moderniza el sistema de ensamble con una tecnología de alta velocidad, precisión y confiabilidad. Esta propuesta se alinea con los objetivos de mejora continua, manufactura esbelta y sostenibilidad, posicionándola como una alternativa clave dentro del plan estratégico de optimización del proceso productivo.

Nuevo diseño de las carcasas

Implementar un sistema de soldado ultrasónico requiere una modificación estructural en el diseño de las piezas para garantizar una unión eficiente, resistente y repetible. A diferencia del proceso de engomado, donde las superficies pueden ser planas y la adherencia depende de la distribución del adhesivo, el soldado ultrasónico necesita elementos geométricos específicos, como costillas de energía (*energy directors*). Estas pequeñas protuberancias triangulares o semicirculares están ubicadas estratégicamente en las zonas de contacto y tienen la función de concentrar la fricción y el calor generados por las vibraciones ultrasónicas, permitiendo una fusión localizada y controlada.

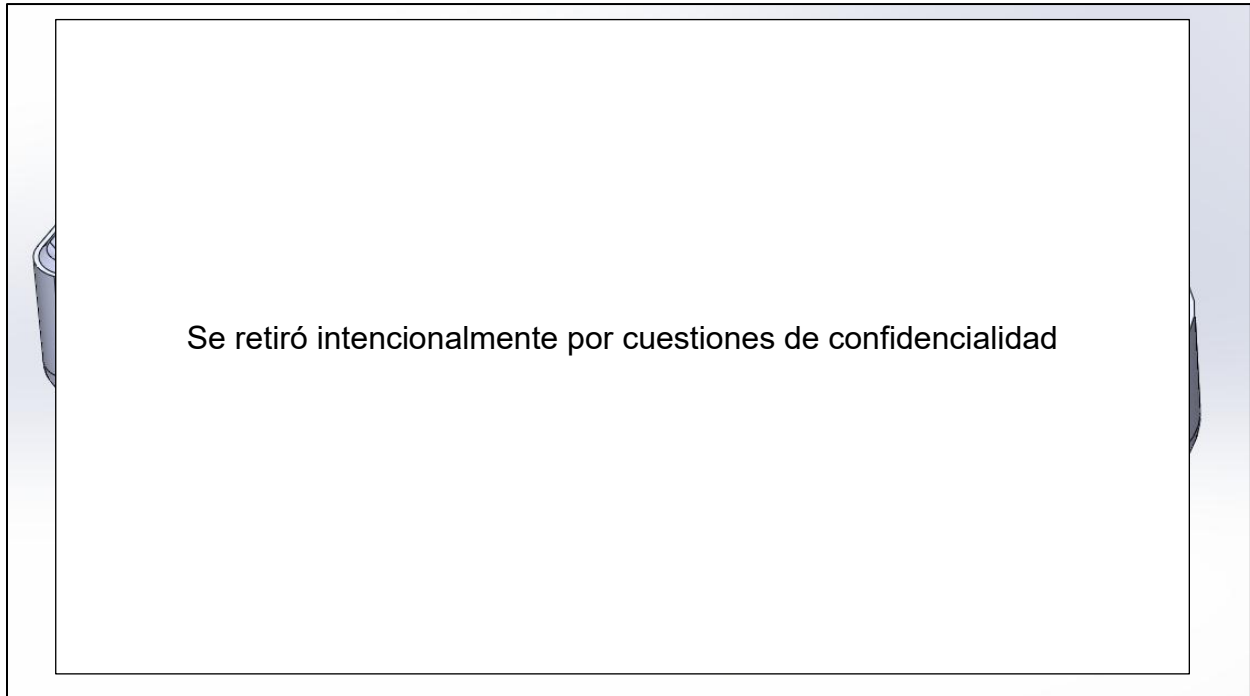
Este ajuste en el diseño implica una colaboración estrecha entre los equipos de ingeniería de producto y manufactura, ya que se deben respetar las tolerancias, la alineación de las piezas y la compatibilidad de los materiales termoplásticos involucrados. Adicionalmente, se debe considerar que las piezas estén diseñadas para facilitar su alineación y sujeción

durante el proceso de soldado, lo cual puede lograrse mediante guías de ensamblaje o fijaciones auxiliares temporales. El objetivo es lograr una soldadura uniforme, sin desplazamientos ni deformaciones que comprometan la integridad del producto final.

La modificación del diseño no solo responde a necesidades funcionales del proceso, sino que también habilita una línea de producción más limpia, rápida y automatizada. A largo plazo, esta adaptación contribuye a una reducción significativa de costos y tiempos, a una mayor repetibilidad del proceso y a una mejora sustancial en la calidad del ensamblaje. Por tanto, este cambio estructural es un requisito clave para asegurar el éxito y la sostenibilidad de la transición hacia el soldado ultrasónico como solución de mejora.

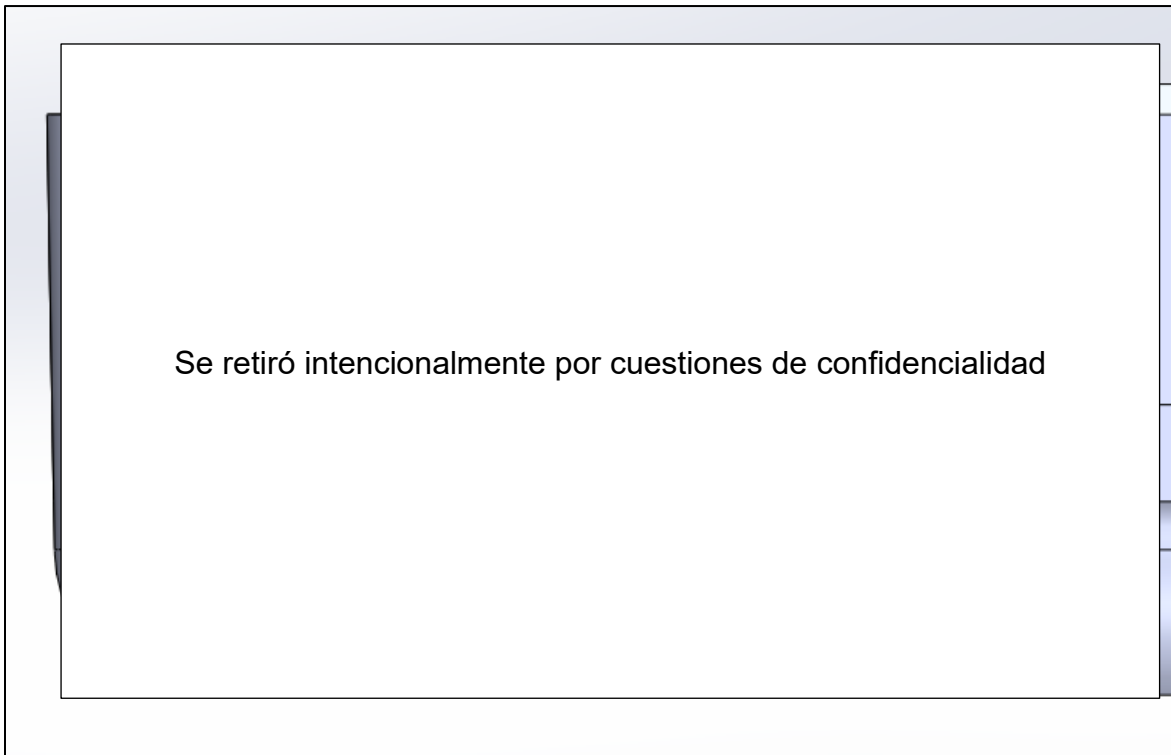
Entre las características de un modelo adaptado a un proceso de soldado ultrasónico, se destacan diseños triangulares como los que se aprecian en la Figura 5.2, en un círculo. Este tipo de diseño permite que la fricción causada por las vibraciones ultrasónicas se derrita controladamente hasta crear una unión rígida entre ambas carcasas. No existen manuales que expliquen cómo deben diseñarse las uniones, pero hay mucho material guía de buenas prácticas en la industria, porque el diseño debe ser único y adaptado a la necesidad de cada pieza, características y material.

Figura 5.4: Ejemplo de diseño para soldado ultrasónico, parte superior



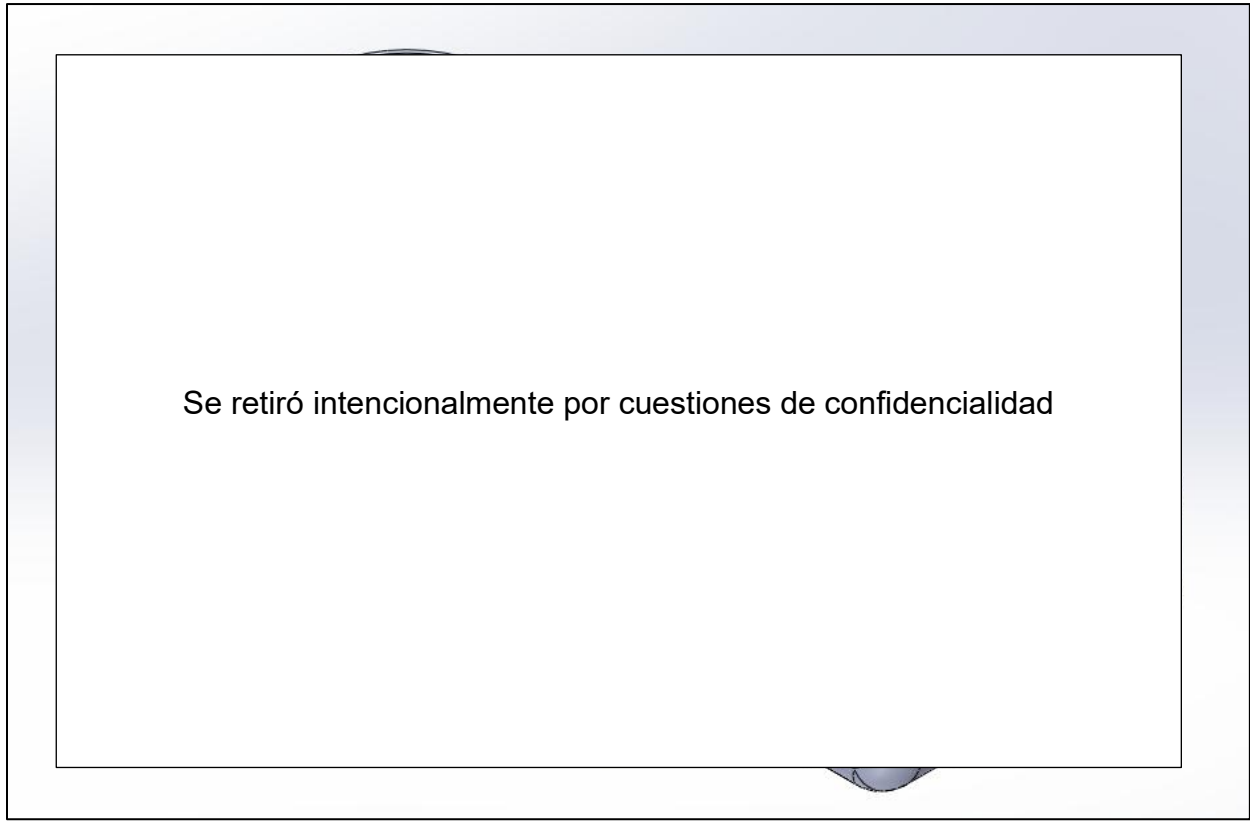
Fuente: elaboración propia, 2025

Figura 5.5: Detalle aumentado diseño para soldado ultrasónico, parte superior



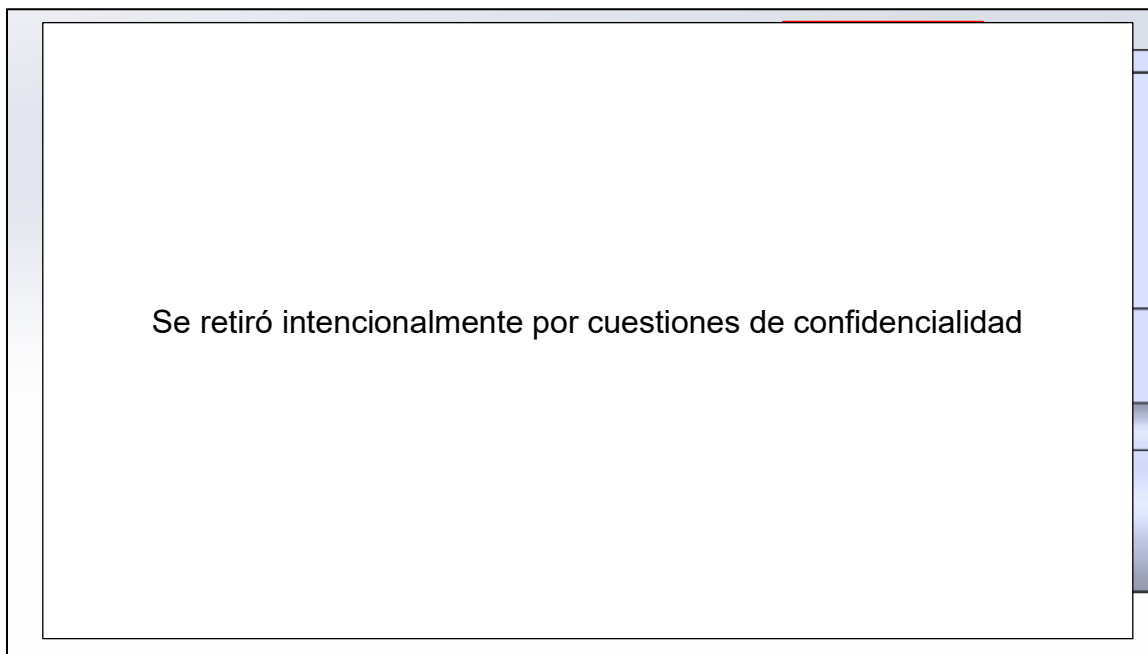
Fuente: elaboración propia, 2025

Figura 5.6: Ejemplo de diseño para soldado ultrasónico, parte inferior



Fuente: elaboración propia, 2025

Figura 5.7: Detalle aumentado diseño para soldado ultrasónico, parte inferior



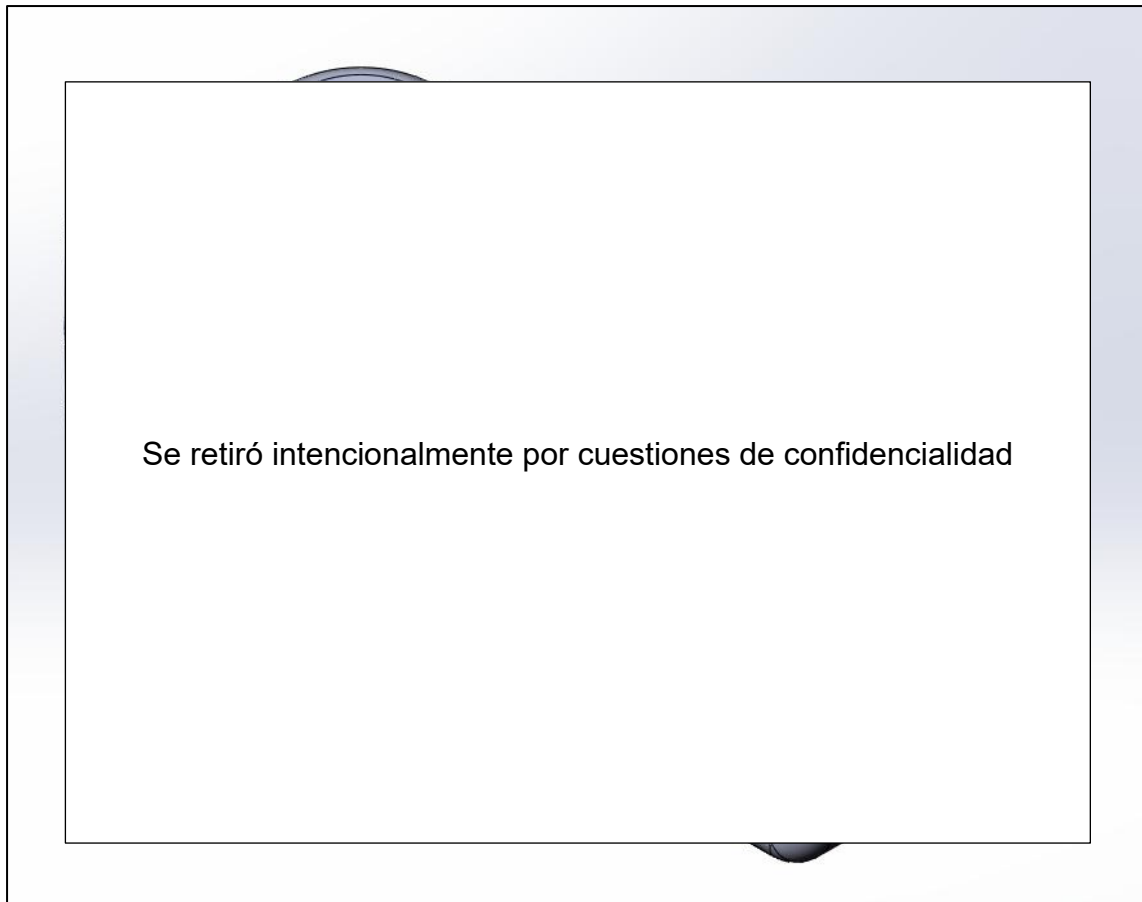
Fuente: elaboración propia, 2025

El diseño adecuado para un proceso de soldadura ultrasónica requiere consideraciones geométricas específicas en las piezas a ensamblar. Una de las configuraciones más comunes consiste en diseñar al menos una de las piezas con un borde en forma de triángulo (*energizing director*) o con una curvatura redondeada, lo cual facilita la concentración del calor generado por la fricción ultrasónica. Estas formas permiten dirigir de manera eficiente la energía hacia el punto de fusión deseado, asegurando una soldadura fuerte y localizada.

Es fundamental que, durante la etapa de diseño, se contemple un espacio controlado entre ambas piezas, conocido como “gap”. Este espacio tiene un propósito funcional: permitir que, una vez iniciado el proceso, la energía ultrasónica derrita selectivamente la zona de contacto de una de las piezas. A medida que esta se funde, comienza a desplazarse hacia abajo, cerrando el espacio original y formando un sello hermético entre ambas superficies plásticas. Sin este gap, la energía se dispersaría, afectando la calidad y la consistencia del ensamblaje.

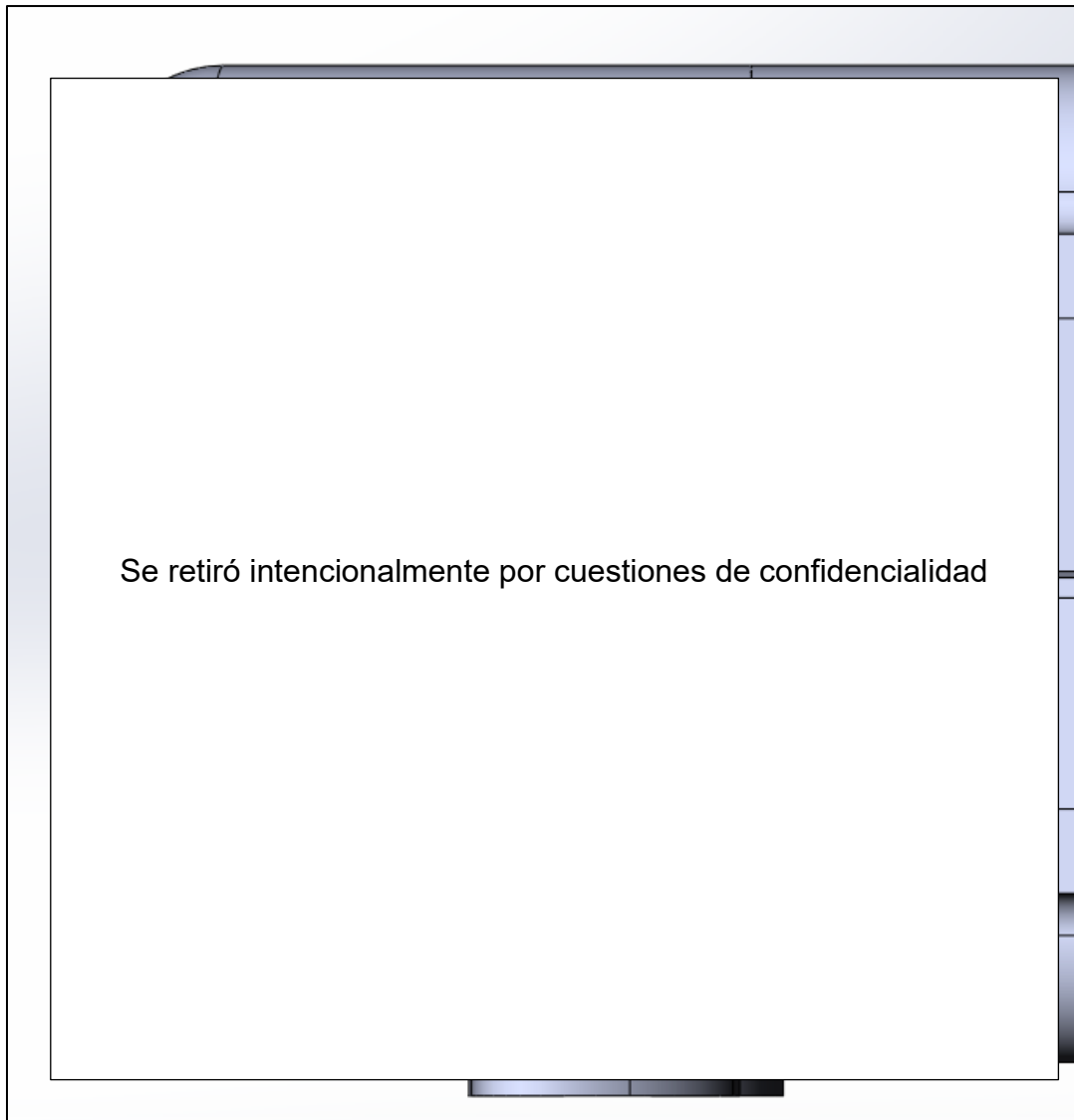
En el caso específico del ensamblaje de las carcasas del producto Wire Connector, este principio cobra especial relevancia. La correcta implementación de un diseño con gap y geometría enfocada en la transmisión ultrasónica asegura no solo una unión robusta, sino también una reducción en los tiempos de ensamblaje, eliminando la necesidad de adhesivos o tiempos de curado prolongados. Así, el proceso se vuelve más eficiente, limpio y reproducible, contribuyendo a una mejora significativa en la productividad de la línea.

Figura 5.8: Ejemplo de diseño para soldado ultrasónico, ensamble de carcasas



Fuente: elaboración propia, 2025

Figura 5.9: Detalle aumentado diseño para soldado ultrasónico, ensamble de carcasas



Fuente: elaboración propia, 2025

5.2 CONTROLAR

En la fase de Control del ciclo DMAIC, se busca garantizar la sostenibilidad de las mejoras implementadas durante el proyecto, asegurar que los procesos optimizados se mantengan estables a lo largo del tiempo. Para ello, es fundamental establecer mecanismos de seguimiento y evaluación continua que permitan detectar desviaciones y corregirlas oportunamente. En este caso, se implementará un diagrama de Gantt como herramienta de control visual y planificación, permitiendo monitorear el cumplimiento de actividades relacionadas con la estandarización del proceso de engomado y la

implementación de nuevas prácticas, como el uso de adhesivos más eficientes o introducir automatización parcial.

Adicionalmente, se aplicará el cálculo del retorno de la inversión (ROI) como herramienta clave para evaluar el impacto financiero de las mejoras, lo cual resulta fundamental para justificar la permanencia de los cambios. Este indicador permitirá medir si los beneficios obtenidos (en términos de reducción de tiempos, aumento de productividad o disminución de retrabajos) superan los costos asociados a la implementación. Así, la fase de Control no solo se enfoca en la estabilidad del proceso desde el punto de vista técnico, sino también en asegurar que los resultados sean sostenibles y rentables para la organización en el mediano y largo plazo.

5.2.1 Diagrama de Gantt

Diagrama de Gantt para el acelerante

Para gestionar de manera estructurada la inclusión del acelerante en el proceso de engomado, se desarrolló un diagrama de Gantt que permitió visualizar y programar las actividades clave desde la fase de análisis hasta la validación del nuevo proceso. Este cronograma detallado contempló etapas como la gestión de compra del producto químico, actualización de documentación, capacitación del personal operativo, y la ejecución de las validaciones de la línea de producción. La utilización del Gantt facilitó la asignación de tiempos y responsables, asegurando una secuenciación lógica de tareas y permitiendo identificar dependencias críticas. Además, el Gantt sirve como una herramienta de monitoreo, ayudando a anticipar desviaciones respecto al cronograma original y a tomar decisiones correctivas en tiempo real. Gracias a esta planificación, se puede lograr integrar el acelerante de forma controlada, minimizando riesgos y asegurando una transición eficiente hacia un proceso más ágil y productivo.

Figura 5.10: Diagrama de Gantt para el acelerante

Cronograma del Proyecto

NOMBRE DEL PROYECTO	Cronograma del Proyecto					
PROJECT MANAGER	Julio Suárez					
NOMBRE COMPAÑIA	MediTech					

NUMERO	TAREAS	DUEÑO TAREA	FECHA DE INICIO	FECHA FINALIZACION	DURACION	PORCENTAJE
1	Gestión de Compra Acelerante					
1.1	Realizar la solicitud de cotización	Compras	19-Jun	20-Jun	1	0%
1.2	Revisión de cotización	Compras	25-Jun	26-Jun	1	0%
1.3	Solicitud de compra de acelerante	Compras	30-Jun	4-Jul	4	0%
1.4	Recepcion e inclusion de acelerante al inventario	Compras	14-Jul	16-Jul	2	0%
2	Validacion del Proceso					
2.1	Preparacion de protocolo	Ingeniero Procesos	14-Jul	25-Jul	11	0%
2.2	Liberacion del protocolo	Ingeniero Procesos	28-Jul	1-Aug	3	0%
2.3	Actualizacion de los procedimientos	Ingeniero Procesos	14-Jul	25-Jul	11	0%
2.4	Solicitud de materiales	Project Manager	24-Jul	28-Jul	4	0%
2.5	Solicitud de ordenes de trabajo	Project Manager	24-Jul	28-Jul	4	0%
2.6	Coordinacion con departamento de Planeacion	Project Manager	28-Jul	1-Aug	3	0%
2.7	Entrenamiento a los operarios	Ingeniero Procesos	28-Jul	1-Aug	3	0%
2.8	Preparación de línea	Producción	4-Aug	6-Aug	2	0%
2.9	Ejecución de validación	Producción y Ingeniería	6-Aug	13-Aug	7	0%
2.10	Elaboración de reporte	Ingeniero Procesos	14-Aug	18-Aug	4	0%
2.11	Liberación del reporte	Ingeniero Procesos	19-Aug	22-Aug	3	0%

Fuente: elaboración propia, 2025

Diagrama de Gantt para el proceso de *Snap Fit* (ensamble por encaje a presión)

La implementación del sistema de cierre mecánico tipo *Snap Fit* requirió una planificación detallada, estructurada mediante un diagrama de Gantt que permitió visualizar cada etapa del proceso de modificación e integración. Este cronograma incluyó actividades

como la compra del molde, validación de procesos, inspección del material, así como la coordinación con el proveedor de piezas plásticas para asegurar la fabricación de las carcasas con la nueva geometría. Luego, se programaron las pruebas de ensamble manual, junto con la capacitación del personal sobre la nueva forma de acoplamiento. El Gantt permitirá definir claramente los plazos y responsables para cada fase, destacando las dependencias críticas entre la producción de moldes y el suministro de componentes. Además, funciona como una herramienta de seguimiento que facilita la detección oportuna de retrasos y la toma de decisiones correctivas. Gracias a esta gestión estructurada, la transición al sistema *Snap Fit* se realizaría de forma ordenada, reduciendo tiempos de ensamble y mejorando la eficiencia operativa sin comprometer la calidad del producto final.

Figura 5.11: Diagrama de Gantt para *Snap Fit*

Cronograma del Proyecto

NOMBRE DEL PROYECTO	Cronograma del Proyecto
PROJECT MANAGER	Julio Suárez
NOMBRE COMPAÑÍA	MediTech

NUMERO	TAREAS	DUEÑO TAREA	FECHA DE INICIO	FECHA FINALIZACION	DURACION	PORCENTAJE
1	Gestión de Compra Molde					
1.1	Realizar la solicitud de cotización	Compras	19-Jun	20-Jun	1	0%
1.2	Revisión de cotización	Compras	25-Jun	27-Jun	2	0%
1.3	Solicitud de compra de molde	Compras	30-Jun	4-Jul	4	0%
1.4	Seguimiento de envío de piezas validadas	Compras	9-Jul	29-Aug	50	0%
1.5	Recepción piezas	Área de Bodega	1-Sep	5-Sep	4	0%
2	Inspección de Material					
2.1	Solicitud de revisión	Facilidades	3-Sep	5-Sep	2	0%
2.3	Revisión de material	Facilidades	8-Sep	12-Sep	4	0%
3	Validación del Proceso					
3.1	Preparación de protocolo	Ingeniero Procesos	1-Sep	12-Sep	11	0%
3.2	Liberación del protocolo	Ingeniero Procesos	15-Sep	19-Sep	4	0%
3.3	Actualización de los procedimientos	Ingeniero Procesos	1-Sep	12-Sep	11	0%
3.4	Solicitud de materiales	Project Manager	15-Sep	19-Sep	4	0%
3.5	Solicitud de ordenes de trabajo	Project Manager	15-Sep	19-Sep	4	0%
3.6	Coordinación con departamento de Planeación	Project Manager	22-Sep	24-Sep	2	0%
3.7	Entrenamiento a los operarios	Ingeniero Procesos	25-Sep	26-Sep	1	0%
3.8	Preparación de línea	Producción	29-Sep	1-Oct	2	0%
3.9	Ejecución de validación	Producción y Ingeniería	6-Oct	13-Oct	7	0%
3.10	Elaboración de reporte	Ingeniero Procesos	14-Oct	17-Oct	3	0%
3.11	Liberación del reporte	Ingeniero Procesos	20-Oct	24-Oct	4	0%

Fuente: elaboración propia, 2025

Diagrama de Gantt para el proceso de soldado ultrasónico

En el contexto del proceso de soldadura ultrasónica, el diagrama de Gantt representa una herramienta fundamental para organizar, visualizar y dar seguimiento al cumplimiento de acciones específicas que permitan mantener los niveles de desempeño alcanzados, así como las otras posibles soluciones descritas en este proyecto.

El proceso de soldado ultrasónico, al involucrar variables críticas como el diseño de las piezas, los parámetros del equipo (frecuencia, presión, tiempo de soldadura), el mantenimiento de los hornos y la capacitación del personal, requiere una planificación detallada para garantizar la consistencia del proceso. Una vez que se han realizado mejoras en algunos de estos aspectos, la fase de Control debe establecer actividades de seguimiento, como auditorías de proceso, controles de calidad, verificaciones del equipo y rutinas de mantenimiento preventivo. Aquí es donde el diagrama de Gantt cobra especial relevancia.

Esta herramienta permite programar de forma estructurada todas las tareas necesarias para mantener estable el proceso de soldado ultrasónico. Por ejemplo, puede utilizarse para establecer y calendarizar inspecciones semanales del estado del sonotrodo, evaluaciones mensuales de la calidad de las uniones, y capacitaciones recurrentes del personal técnico. Al mostrar gráficamente la secuencia y duración de cada actividad, el Gantt permite identificar con claridad los responsables, las fechas límite y las dependencias entre tareas. De este modo, se evita el incumplimiento o solapamiento de actividades, garantizando un control proactivo del proceso.

Además, el diagrama de Gantt ayuda a establecer puntos de verificación a lo largo del tiempo, los cuales sirven como indicadores visuales para evaluar el cumplimiento del plan de control. Por ejemplo, si una actividad crítica como la recalibración del equipo ultrasónico no se realiza en la fecha prevista, el Gantt permite detectar fácilmente el retraso y tomar medidas correctivas antes de que afecte la calidad del producto. Este tipo de gestión visual facilita también la comunicación entre las áreas involucradas, ya que

todos los miembros del equipo pueden visualizar el avance del plan y entender su papel dentro de este.

En el caso específico del proceso de ensamblaje de carcasas mediante soldadura ultrasónica, donde se busca eliminar tiempos muertos y defectos asociados a adhesivos de secado lento, el uso del Gantt también es útil para controlar la implementación progresiva de los nuevos procedimientos. Por ejemplo, si el proceso se divide en fases piloto, escalamiento y estandarización, el Gantt puede utilizarse para planificar hitos clave como pruebas de validación, análisis de resultados, y aprobación por parte del área de calidad.

Por último, el diagrama de Gantt ofrece una base sólida para vincular la ejecución de las actividades de control con indicadores financieros y operativos, como el retorno de la inversión (ROI) o la mejora en los tiempos de ciclo. Al evidenciar el cumplimiento del plan de control y su relación con los resultados esperados, esta herramienta se convierte en un soporte clave para la toma de decisiones de la dirección y para justificar la continuidad de las mejoras dentro del sistema productivo.

El diagrama de Gantt no solo sirve como una herramienta de planificación, sino que se convierte en un mecanismo de control operativo y estratégico que contribuye directamente al éxito y la sostenibilidad del proceso de mejora continua, en particular en un proceso técnico y sensible como lo es la soldadura ultrasónica en productos de precisión como el Wire Connector.

Figura 5.12: Diagrama de Gantt soldado ultrasónico

Cronograma del Proyecto						
NOMBRE DEL PROYECTO		Cronograma del Proyecto				
PROJECT MANAGER		Julio Suárez				
NOMBRE COMPAÑÍA		MediTech				
NUMERO	TAREAS	DUEÑO TAREA	FECHA DE INICIO	FECHA FINALIZACION	DURACION	PORCENTAJE
1 Gestión de Compra Maquina						
1.1	Realizar la solicitud de cotización	Compras	19-Jun	20-Jun	1	0%
1.2	Revisión de cotización	Compras	25-Jun	27-Jun	2	0%
1.3	Solicitud de compra de maquina	Compras	30-Jun	4-Jul	4	0%
1.4	Seguimiento de envío de maquina	Compras	9-Jul	5-Sep	56	0%
1.5	Recepción maquina	Área de Bodega	12-Sep	16-Sep	4	0%
2 Instalación de Maquina						
2.1	Rediseño del área de producción	Facilidades	30-Jun	4-Jul	4	0%
2.3	Preparación del área de la maquina	Facilidades	17-Sep	19-Sep	2	0%
2.4	Instalación eléctrica	Facilidades	7-Aug	10-Aug	3	0%
2.5	Instalación neumática	Facilidades	14-Aug	17-Aug	3	0%
2.6	Demarcación del área	Facilidades	11-Sep	13-Sep	2	0%
2.7	Instalación de las conexiones	Facilidades	20-Sep	21-Sep	1	0%
2.8	Chequeo de la instalación	Facilidades	22-Sep	24-Sep	2	0%
3 Validación de la Maquina						
3.1	Preparación de protocolo	Manufactura	1-Sep	12-Sep	11	0%
3.2	Liberación del protocolo	Manufactura	15-Sep	19-Sep	4	0%
3.3	Preparación de maquina para validar	Manufactura	29-Sep	1-Oct	2	0%
3.4	Ejecutar validación	Manufactura	6-Oct	8-Oct	2	0%
3.5	Elaboración de reporte	Manufactura	9-Oct	16-Oct	7	0%
3.6	Liberación del reporte	Manufactura	17-Oct	24-Oct	7	0%
4 Validación del Proceso						
4.1	Preparación de protocolo	Ingeniero Procesos	1-Sep	12-Sep	11	0%
4.2	Liberación del protocolo	Ingeniero Procesos	15-Sep	19-Sep	4	0%
4.3	Actualización de los procedimientos	Ingeniero Procesos	1-Sep	12-Sep	11	0%
4.4	Solicitud de materiales	Project Manager	29-Sep	3-Oct	4	0%
4.5	Solicitud de ordenes de trabajo	Project Manager	29-Sep	3-Oct	4	0%
4.6	Coordinación con departamento de Planeación	Project Manager	13-Oct	17-Oct	4	0%
4.7	Entrenamiento a los operarios	Ingeniero Procesos	20-Oct	24-Oct	4	0%
4.8	Preparación de línea	Producción	27-Oct	29-Oct	2	0%
4.9	Ejecución de validación	Producción y Ingeniería	30-Oct	7-Nov	7	0%
4.10	Elaboración de reporte	Ingeniero Procesos	10-Nov	14-Nov	4	0%
4.11	Liberación del reporte	Ingeniero Procesos	17-Nov	21-Nov	4	0%

Fuente: elaboración propia, 2025

5.2.2 Análisis de retorno de la inversión (ROI)

Retorno de la inversión (ROI) para el acelerante Loctite SF 770

La implementación de soluciones de bajo costo, pero alto impacto, es fundamental en proyectos de mejora continua enfocados en la eficiencia operativa. En este contexto, se analiza el uso de un acelerante de secado rápido llamado Loctite SF 770, como una alternativa viable para reducir los tiempos de curado del adhesivo Loctite 4011 en la línea de producción Wires. Este análisis se realiza dentro de la fase Control del ciclo DMAIC, en la cual se evalúa la sostenibilidad económica para la propuesta analizada.

El Loctite SF 770 es un promotor de adherencia que acelera la polimerización del adhesivo en sustratos difíciles y reduce significativamente el tiempo de fijación. Cada botella tiene un costo de \$30.61 USD, en presentación de 1.75 onzas, y se estima un consumo de dos botellas por semana para una producción de 1,340 piezas semanales. La reducción en tiempo de curado permite liberar capacidad operativa, eliminar cuellos de botella y acelerar el flujo de producción. Estos beneficios se traducen en un incremento de productividad y en una reducción indirecta de costos operativos, como tiempos muertos, uso prolongado de mesas de trabajo y ocupación del personal.

Para estimar el ROI, se adopta un enfoque conservador suponiendo un beneficio de \$0.5 USD por cada pieza que se produce bajo el efecto del acelerante, en forma de ahorro de tiempo y disminución de riesgos de rechazos o retrabajos. Así, el cálculo del ROI semanal sería.

Datos:

- Inversión de acelerante = \$61.22 (dos botellas por semana)
- Producción semanal con acelerante = 1,340 piezas
- Beneficio estimado por pieza = \$0.5
- Beneficio bruto semanal = $1,340 \times \$0.5 = \670

Semanas para recuperar:

$$\frac{300}{670} = 0.44 \text{ semanas}$$

Este resultado indica que el tiempo de recuperación sería de menos de una semana; se fija una inversión de \$300, debido a que se incluyen los costos de capacitación, mejora de controles, recipientes para incluir el acelerante como parte del proceso, y el material, que en este caso es el acelerante.

Este margen de retorno demuestra que la implementación del Loctite SF 770 no solo es rentable, sino estratégicamente sólida para mejorar la eficiencia operativa sin necesidad de inversiones de capital significativas.

Retorno de la inversión (ROI) para el proceso de *Snap Fit*

En la búsqueda por aumentar la eficiencia y reducir costos en el proceso de ensamble de carcasas plásticas dentro de la línea de producción Wires, se propone la implementación del método *Snap Fit* (ensamble por encaje a presión). Esta tecnología permite unir dos partes sin adhesivos ni procesos térmicos, a través de un diseño geométrico específico que asegura firmeza mecánica mediante presión y geometría de enclavamiento.

El método *Snap Fit* requiere una inversión inicial en el diseño y fabricación de un molde especializado, cuyo valor estimado es de \$100,000. A esto se le suma un costo adicional de \$1,500 asociado a la capacitación del personal, modificación de la línea, y pruebas iniciales de ajuste. El costo total del proyecto asciende a \$101,500. A cambio de esta inversión, se estima una producción de 2,550 piezas semanales, cada una con un ahorro estimado de \$1, gracias a la eliminación de adhesivos, reducción de tiempo de ensamblaje y simplificación del proceso.

Este cambio no solo reduce significativamente el tiempo de ciclo (al eliminar etapas de aplicación y curado de adhesivo), sino que también mejora la repetibilidad, reduce errores humanos y facilita la automatización futura. Además, el *Snap Fit* evita el uso de químicos y equipos complementarios, lo que también contribuye a la sostenibilidad y seguridad del proceso.

Datos:

- Inversión en molde: \$100,000 USD
- Costo de entrenamiento y ajustes iniciales: \$1,500 USD
- Producción semanal estimada: 2,550 piezas
- Ahorro estimado por pieza: \$1 USD (por eliminación de adhesivos, tiempos de curado y reducción de tiempos de ciclo)

El beneficio neto semanal es:

2,550 piezas × \$1 = \$2,550/semana

Con esto, el tiempo de recuperación de la inversión da como resultado:

$$\frac{\$101,500}{\$2550} = 39.8 \text{ semanas}$$

Esto implica que, en menos de 10 meses, la inversión se recupera por completo. A partir de ese punto, los beneficios son netamente ganancias. Además, el método *Snap Fit* elimina la variabilidad generada por el uso de adhesivos, mejora la estética del producto final y reduce el impacto ambiental, consolidándose como una alternativa de mejora robusta y sostenible.

Retorno de la inversión (ROI) para el proceso de soldado ultrasónico

Para evaluar la viabilidad económica de una mejora, midiendo la relación entre los beneficios obtenidos y el costo de inversión. El ROI es crucial para demostrar la justificación económica de adquirir una máquina de soldadura ultrasónica, en sustitución del proceso manual de engomado que implica largos tiempos de ciclo y dependencia del curado del adhesivo. Esta evaluación se ubica en la fase Control de la metodología DMAIC, y permite consolidar los beneficios obtenidos con datos financieros concretos.

En el proceso actual, cada pieza requiere aproximadamente 2 horas (7,200 segundos) para completar el engomado. Con la implementación de la tecnología de soldadura

ultrasónica, este tiempo se reduce a 20 segundos por pieza, lo que representa una mejora en el tiempo de ciclo superior al 99%. Si se considera una jornada laboral diaria de 8.5 horas (30,600 segundos), el sistema permite ensamblar unas 16 piezas por día, mientras que con la nueva máquina se podrían producir hasta 1,530 piezas por día.

En una semana laboral estándar de 5 días, el volumen semanal del método manual asciende a 81 piezas. Si se considera el proceso de soldadura ultrasónica el potencial a producir es de 7,650 piezas por semana, ahora bien, este número sería de capacidad instalada. La capacidad real rondaría las 5,000 piezas por semana, ya que se debe considerar paros de mantenimiento, tiempos muertos, calibración y ajustes programados. Esto significa que el aumento en capacidad productiva sería de 5,000 piezas semanales.

Si se estima un beneficio neto conservador de \$1 por cada pieza adicional producida, considerando ahorro en tiempos muertos, materiales y menor carga operativa, el beneficio semanal se calcula así:

Beneficio semanal: $5,000 \times \$1 = \$5,000$

Ahora, considerando que el costo de inversión en la máquina de soldado ultrasónico es de \$70,000 USD, para este cálculo se considera una máquina marca Dukane Infinity X4, el cálculo del ROI semanal inicial sería:

Costos asociados a instalación, capacitación, validaciones y transporte, rondarían los \$10,000.

$ROI = (\text{Beneficio generado} - \text{Costo de inversión}) / \text{Costo de inversión}$

ROI semanal:

$$\frac{(\$5,000 - \$80,000)}{\$80,000} = -0.94 \text{ semanas}$$

Este resultado negativo refleja que aún no se ha recuperado la inversión en la primera semana. Sin embargo, al proyectar los beneficios acumulados, se puede calcular el periodo de recuperación de la siguiente manera:

Cálculo de ROI:

$$\frac{\$80,000}{\$5,000} = 16 \text{ semanas}$$

Esto indica que la inversión se amortizaría en aproximadamente 16 semanas, es decir, en alrededor de cuatro meses, lo cual sigue siendo un periodo razonable y atractivo para una inversión de capital fijo en el sector industrial. A partir de ese momento, la máquina comenzará a generar beneficios netos semanales, aumentando la rentabilidad de la línea de producción.

Más allá de los beneficios económicos cuantificables, esta inversión también aporta ventajas cualitativas significativas. Entre ellas se encuentran la reducción de errores humanos, la eliminación del uso de adhesivos de curado lento, la estandarización del proceso y la mejora en la calidad del ensamblaje. Además, se libera tiempo operativo que puede utilizarse en otras tareas de valor agregado, lo cual incrementa la eficiencia global del sistema.

Se considera la máquina Dukane Infinity X4 debido a las características de esta, ya que cuenta con capacidades que se podrían adaptar a otros productos de la compañía y que se pueden ofrecer a los clientes como alternativas. Sus dimensiones de 5 pulgadas o 127 milímetros son ideales para usarse en dispositivos de pequeña o mediana dimensión, y con una capacidad de fuerza de soldado de 1000 libras fuerza o unos 4450 Newtons.

DUKANE, (2025). Infinity™ Servo Ultrasonic Welder with patented Melt-Match®.

La aplicación del ROI en este proyecto demuestra que, aunque la inversión inicial en una máquina de soldadura ultrasónica de \$80,000 es considerable, su alto impacto en productividad permite su recuperación en un corto plazo. Esta herramienta no solo

ayudaría a validar una decisión desde el punto de vista financiero, sino que también respalda la sostenibilidad de la mejora implementada en el largo plazo. La integración de esta tecnología en la línea Wires podría representar una decisión estratégica alineada con los principios de mejora continua y eficiencia operativa.

A continuación, se detalla un resumen del ROI para las tres propuestas descritas en este proyecto, de en cuanto tiempo la compañía MediTech podría empezar a ver ganancias.

Tabla 5.1: ROI por proceso

Tipo de proceso	Inversión fija	Beneficio bruto	ROI en semanas (Inversión fija / Beneficio bruto)
Inclusión de acelerante	\$300.00	\$670.00	0.44
Cierre por <i>Snap Fit</i>	\$101,500.00	\$2,550.00	39.8
Soldado ultrasónico	\$80,000.00	\$5,000.00	16

Fuente: elaboración propia, 2025

Cálculo del nuevo costo de fabricación y precio final para el cliente por propuesta de proceso

Se debe considerar el precio actual, que es de \$250.13 para cada unidad, y es algo elevado, debido a que la producción es muy baja para compensar los tiempos no operativos de la línea. La compañía MediTech marca un margen de ganancia en un 67% por unidad. El proceso de engomado representaba un cuello de botella en la producción, por su alta dependencia del trabajo manual, variabilidad entre operadores y largos tiempos de secado. Cada una de las propuestas rondan en tiempos similares en nivel de mejora de proceso, pero con variantes en materiales, y costos de mano de obra.

Las propuestas tienen sus variantes, ya sea la inclusión de un acelerante significa que se debe incluir un químico nuevo al proceso y a la lista de materiales. El proceso de cierre mecánico o *Snap Fit*, tiene la característica de que se le eliminan dos materiales, pero se debe modificar el diseño de las carcasas y pasar validaciones nuevas de distribución, para asegurarse de que al transportar el producto o distribuirlo, las piezas no se abran o desarmen.

Y por último, el proceso de soldado ultrasónico también presenta características particulares: se debe adaptar la carcasa a soldado ultrasónico y comprar una máquina de soldado ultrasónico.

A continuación, se detalla cómo los precios podrían variar si los procesos se modificaran en cada una de las propuestas. Se consideró el volumen actual de producción mensual.

Tabla 5.2: Comparación del precio por volumen actual

Tipo de Proceso	Cantidad Minima de Orden	Precio de Venta	Margen	Costo total de Materiales	Costo de Mano de Obra	Total Materiales + Mano de Obra
Proceso Actual	310	250.13	67%	\$26.64	\$52.61	\$79.24
Inclusión de Acelerante	310	173.89	67%	\$25.45	\$28.64	\$54.08
Cierre por Snap Fit	310	171.35	67%	\$25.32	\$27.93	\$53.25
Soldado Ultrasónico	310	169.15	67%	\$25.10	\$27.42	\$52.52

Fuente: elaboración propia, 2025

La Tabla 5.2 muestra la variación en el precio que podría experimentar cada unidad dependiendo del proceso que se incorpore; la reducción del precio ronda el 30%.

Aunque las propuestas mejoran en gran medida los precios de venta, y los nuevos precios podrían significar un ahorro muy importante para el cliente, por razones de ventas, no se recomienda aplicar una reducción muy significativa en el precio, debido a que podría traer cuestionamientos de cómo solo cambiar un proceso la mejora, podría ahorrar miles de dólares. Se propone que una reducción del 15% es un porcentaje razonable y muy utilizado a nivel de mercado en otras compañías. El monto podría variar dependiendo de si el cliente accede a volúmenes más altos semanales.

Ahora bien, dado que todas las propuestas mejoran considerablemente el tiempo de proceso, a nivel de producción las cantidades aumentarían por jornada laboral. Se realizaron comparaciones de precios según las cantidades que se podría llegar a obtener. En estos escenarios no se considera la capacidad instalada de cada una de las

propuestas; se ponderan escenarios en donde el cliente podría aumentar las órdenes de compra mensuales y cómo el precio variaría.

Tabla 5.3: Comparación de los precios por volumen aumentado

Tipo de Proceso	Cantidad Minima de Orden	Precio de Venta	Margen	Costo total de Materiales	Costo de Mano de Obra	Total Materiales + Mano de Obra
Proceso Actual	2750	169.34	50%	\$25.87	\$53.80	\$79.67
Inclusión de Acelerante	2750	107.97	50%	\$25.35	\$28.64	\$53.98
Cierre por Snap Fit	2750	105.21	50%	\$24.68	\$27.93	\$52.61
Soldado Ultrasónico	2750	103.40	50%	\$24.28	\$27.42	\$51.70

Fuente: elaboración propia, 2025

Entre los factores que permiten la reducción del precio en volúmenes más altos, está el hecho de que los precios de los materiales son menores, pues por compras de volúmenes altos, los suplidores aplican reducciones en los precios, además de que el margen baja a un 50% (así determinado por MediTech).

5.2.3 Gemba Walk

Durante el recorrido realizado para este proyecto, se observaron múltiples oportunidades de mejora relacionadas principalmente con la aplicación del adhesivo, tiempos de espera, y la variabilidad en la ejecución de tareas manuales. Este ejercicio sirvió como una base esencial para validar con hechos lo que los indicadores ya sugerían: un proceso con alto contenido de actividades que no agregan valor.

Observaciones en el proceso actual

Durante el recorrido por la línea de producción de Wires, se evidenciaron distintos comportamientos y dinámicas que reflejan fortalezas y debilidades en la operación diaria. Uno de los aspectos más notorios fue la dependencia de la habilidad individual del operario para aplicar el adhesivo. No existen herramientas de dosificación automáticas ni guías visuales para la cantidad o la forma de aplicación, lo cual genera resultados inconsistentes entre piezas del mismo lote. Esta variabilidad impacta directamente en la calidad y en el tiempo de retrabajo.

Otro hallazgo importante fue el largo periodo de inactividad del producto durante el secado del adhesivo. En varios casos, se observó que piezas quedaban en reposo hasta por 2 horas antes de continuar con el ensamble, lo cual representa un cuello de botella claro. Esta espera no solo ocupa espacio físico (acumulación en mesas y bandejas), sino que también bloquea el flujo continuo del proceso. Además, al no haber un cronómetro o señal visual que indique cuánto tiempo lleva en reposo cada lote, muchas veces se retoman antes o después del tiempo óptimo, afectando la resistencia final de la unión.

También se evidenció la ausencia de estándares de trabajo visuales. Durante el Gemba Walk no se observó instrucciones de trabajo, esquemas de paso a paso ni indicadores visuales para guiar al operario en cuanto a tiempos, cantidades o puntos de inspección.

Esto genera dependencia de la experiencia individual y limita la posibilidad de capacitación efectiva o de rotación del personal. Asimismo, se identificaron momentos de espera entre pasos del proceso, donde el operario no podía avanzar hasta que el siguiente paso estuviera listo, lo cual sugiere falta de balanceo de línea.

Observaciones relacionadas con seguridad y ergonomía

Desde el punto de vista ergonómico, se notó que algunos operarios trabajan en posiciones incómodas, agachados o inclinados, especialmente durante la aplicación manual del adhesivo. Esta situación podría derivar en fatiga o lesiones por movimientos repetitivos a largo plazo. No se observó estaciones de trabajo ajustables o elementos que faciliten la manipulación ergonómica del producto.

En cuanto a la seguridad, el uso del adhesivo no estaba siempre acompañado de los equipos de protección adecuados (guantes, mascarillas), a pesar de que los vapores de algunos productos pueden ser irritantes. Esto refuerza la necesidad de evaluar tecnologías alternativas más limpias, como el soldado ultrasónico, que elimina el uso de químicos y reduce los riesgos asociados.

Reflexión y oportunidades

El Gemba Walk permitió confirmar que muchas de las ineficiencias del proceso no están documentadas ni visibles desde una hoja de cálculo. Solo al observar directamente el proceso, se pudieron detectar los tiempos muertos, las limitaciones de diseño de la estación de trabajo y la ausencia de estándares. Esto fundamentó de forma cualitativa y cuantitativa la propuesta de mejora planteada en la tesis.

A partir de este análisis se proponen, como oportunidades de mejora:

- Evaluar la implementación de soldado ultrasónico para eliminar tiempos de curado.
- Establecer estándares visuales y procedimientos de trabajo.
- Incorporar herramientas de medición del tiempo de reposo.
- Analizar y balancear la línea para evitar acumulaciones.
- Mejorar la ergonomía de estaciones para asegurar la salud del personal.

El Gemba Walk fue un instrumento fundamental para conectar la teoría con la realidad del proceso. Gracias a esta observación directa fue posible validar con evidencia empírica las causas del bajo rendimiento actual y diseñar una propuesta de mejora adaptada a la operación real. Además, se fomentó una mayor comunicación con los operarios, quienes ofrecieron ideas valiosas desde su experiencia diaria. En resumen, el Gemba Walk fortaleció la tesis no solo con datos técnicos, sino con comprensión práctica y humana del problema.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se detallan las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas en el estudio.

Conclusiones

- Los tiempos de espera prolongados, la ausencia de procesos semiautomáticos y la falta de ambientes controlados impactaron negativamente el desempeño del proceso de engomado, generando ineficiencias operativas.
- El tiempo improductivo de la línea estuvo de forma directa relacionado con la imposibilidad de fijar las carcasas sin esperar el tiempo completo de curado (entre dos y cuatro horas). Esta limitación afectó de manera directa la productividad, ya que los volúmenes de producción obtenidos fueron relativamente bajos y el precio de venta resultó elevado para el cliente.
- Las tres propuestas evaluadas el uso de acelerante, el cierre mecánico y el proceso de soldado ultrasónico representaron alternativas viables y confiables para mejorar el proceso actual, sin embargo, la opción de soldado ultrasónico es considerada la más fiable, debido a que representa eliminar por completo el uso de químicos, y un proceso como el acelerante reduce en un 25% la resistencia del Loctite 4011 al impacto.

Recomendaciones

- Avanzar hacia la automatización parcial del proceso de engomado, incorporando algunas estaciones semiautomáticas que permitan reducir la variabilidad operativa y mejorar la eficiencia. Asimismo, considerar la habilitación de ambientes controlados, especialmente en cuanto a temperatura y humedad, para asegurar condiciones estables durante el curado del adhesivo. Estas medidas permitirían minimizar los tiempos muertos y aumentar la repetibilidad del proceso, contribuyendo a una producción más robusta y menos susceptible a factores externos.
- Dado que el tiempo de curado representa una de las principales restricciones, se debe modificar el flujo de producción para permitir una mayor flexibilidad operativa. Esto podría lograrse mediante la creación de espacios intermedios, el uso de dispositivos de fijación temporal o el diseño de celdas paralelas que permitan

continuar con otras operaciones mientras se cumple el tiempo de secado. Esta estrategia contribuiría a reducir el tiempo improductivo de la línea, optimizar los recursos disponibles y facilitar una mejor capacidad de respuesta ante demandas mayores o cambios en el plan de producción.

- Con base en los resultados obtenidos, iniciar un plan piloto de implementación progresiva de las soluciones analizadas: acelerante, cierre mecánico y soldadura ultrasónica. Cada opción puede aplicarse según las características del producto o del cliente final. Esta evaluación tecnológica escalonada permitirá maximizar los beneficios sin comprometer la calidad ni la estabilidad del proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros

Manene, L. (2011). *Los diagramas de flujo: su definición, objetivo, ventajas, elaboración, fases, reglas y ejemplos de aplicaciones*.

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/60656037/Los_diagramas20190920-8696-u4r0qz-libre.pdf?1568999126=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEl_28_julio_2011_en_Estructura_Organizat.pdf&Expires=1738880179&Signature=YhLWg8M~83-BTQZrfVMKqa3mKhXUhgzmxc-ehnyhOJePitK5ARD5akwnBupooGr~CdA6nTFIrUFT9HHCY3tS3Gih~5Pz2zA8vqK5D7qhII043xHZxBUXS~68GuHxKZE7JtRqB1-hfjlk8LoEQEhJWmdxmki3dNIRyyxUYQW6DHvebd61-H7Uj41FaOKBsMkKv57WNU56oKahmul9mNzQCYS0BYGOZuPqHcCmm8TFkJP0jSuEDbjuVLSr41CoOJRZA6LFPbuEI-qQ6FI-jr1vwE-EWZJeCUFR2fA6TPCC8gyFASGoI4xreinBmHZ4OKWCN7BnFYHdF6orLk6A1Ydu1w_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Proyectos de investigación

Morales, J. E. (2014). *Caracterización del proceso de soldadura ultrasónica en la producción de dispositivos de salud de la mujer* (Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica) Repositorio SIBDI-UCR.

<https://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr/server/api/core/bitstreams/0a10efb1-b75b-4082-9b1e-a80e63995d1a/content>

Fuentes de Internet

Asana, Inc., (2025). *Análisis FODA: qué es y cómo usarlo (con ejemplos)*

Recuperado de <https://asana.com/es/resources/swot-analysis>

Asana, Inc., (2025). *Diagrama de Gantt: qué es y cómo crear uno con ejemplos*.

Recuperado de <https://asana.com/es/resources/gantt-chart-basics>

Asana, 2025. *Project charter: qué es y cómo crearlo con una plantilla.*

Recuperado de <https://asana.com/es/resources/project-charter>

BBVA, (2024). *ROI: qué es el retorno de la inversión y cuál es su fórmula.*

<https://www.bbva.com/es/salud-financiera/roi-que-es-el-retorno-de-la-inversion-y-cual-es-su-formula/>

Businessmap, (2025). *Los 5 porqués: la mejor herramienta de análisis de causa raíz.*

Recuperado de <https://businessmap.io/es/gestion-lean/mejora-continua/los-5-porques-herramienta-de-analisis>

Concepto, (2025). *Diagrama de Gantt*

Recuperado de <https://concepto.de/diagrama-de-gantt/>

Concepto, (2025). *Diagrama de Ishikawa*

Recuperado de <https://concepto.de/diagrama-de-ishikawa/>

Congreso de Mantenimiento & Confiabilidad, 2021. *DMAIC: Una guía completa.*

Recuperado de <https://cmc-latam.com/2021/07/21/dmaic-una-guia-completa/>

DUKANE, (2025). *Infinity™ Servo Ultrasonic Welder with patented Melt-Match®.*

Recuperado de <https://www.dukane.com/products/ultrasonic-products/ultrasonic-welders/infinity-with-melt-match>

GRAINGER, (2025). *LOCTITE Primer: SF 770, 1.75 fl oz, Bottle, Clear*

Recuperado de

https://www.grainger.com/product/794F22?gucid=N:N:PS:Paid:GGL:CSM-2295:7Q8R4W:20500801:APZ_1&gad_source=1&gad_campaignid=21369464154&gclid=CjwKCAjw3f_BBhAPEiwAaA3K5Ib0y73hjlHz_UKuSF51NC7j8f5knbRQKbxknYTgZ8FiXatyTyAJERoCmf8QAvD_BwE&gclsrc=aw.ds

IONOS Cloud S.L.U. (2025). *El diagrama de Ishikawa para abordar los problemas correctamente.*

Recuperado de <https://www.ionos.es/startupguide/productividad/diagrama-de-ishikawa/>

JMP Statistical Discovery, 2025. *Histograma.*

Recuperado de https://www.jmp.com/es_ar/statistics-knowledge-portal/exploratory-data-analysis/histogram.html

Kanban tool, 2025. *¿Qué es un diagrama SIPOC (COPIS)?*

Recuperado de <https://kanbantool.com/kanban-guide/what-is-sipoc>

Los tigres del 4A, (2017). *Lluvia de ideas.* Recuperado de

<https://herramientasdetomadedesiciones.wordpress.com/2017/11/14/lluvia-de-ideas/>

Martínez, I. (2025). *Benchmarking: imprescindible para mejorar el rendimiento de las empresas.* Recuperado de

https://blog.comunicae.es/benchmarking_mejorar_rendimiento_empresa/

MECASONIC Plastic Welding Solutions, (2025). *Soldadura de Termoplásticos.*

Recuperado de <https://sginplast.com/soldadura-de-termoplasticos/>

Rapid Direct, (2025). *Qué es la soldadura ultrasónica: principio de funcionamiento, aplicaciones y ventajas.*

Recuperados de <https://www.rapiddirect.com/es/blog/ultrasonic-welding/>

Telsonic Ultrasonics, (2025). *Soldadura por ultrasonidos | Rápida y económica.*

Recuperado de <https://www.telsonic.com/es/tecnologia-de-ultrasonidos/soldadura-por-ultrasonidos/>

Tuneu, P. (2024). *¿Qué es el ROI y por qué es tan crucial en un negocio? Universidad Oberta de Catalunya.* Recuperado de

<https://blogs.uoc.edu/mel/es/que-es-el-roi-y-por-que-es-tan-crucial-en-un-negocio/>

APÉNDICES Y ANEXOS

APÉNDICE 1: GLOSARIO DE TÉRMINOS

Análisis FODA

Herramienta estratégica que permite identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de un proyecto o proceso. Facilita la toma de decisiones y el enfoque de acciones de mejora.

Árbol de CTQ (Critical to Quality)

Representación jerárquica que descompone los requerimientos del cliente en características críticas de calidad. Ayuda a traducir la voz del cliente en especificaciones medibles.

Diagrama SIPOC

Mapa de alto nivel que muestra los elementos clave de un proceso: Proveedores, Entradas, Proceso, Salidas y Clientes. Se utiliza para delimitar y entender procesos desde una visión macro.

DMAIC

Metodología estructurada de mejora continua compuesta por cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Es utilizada principalmente en proyectos Six Sigma.

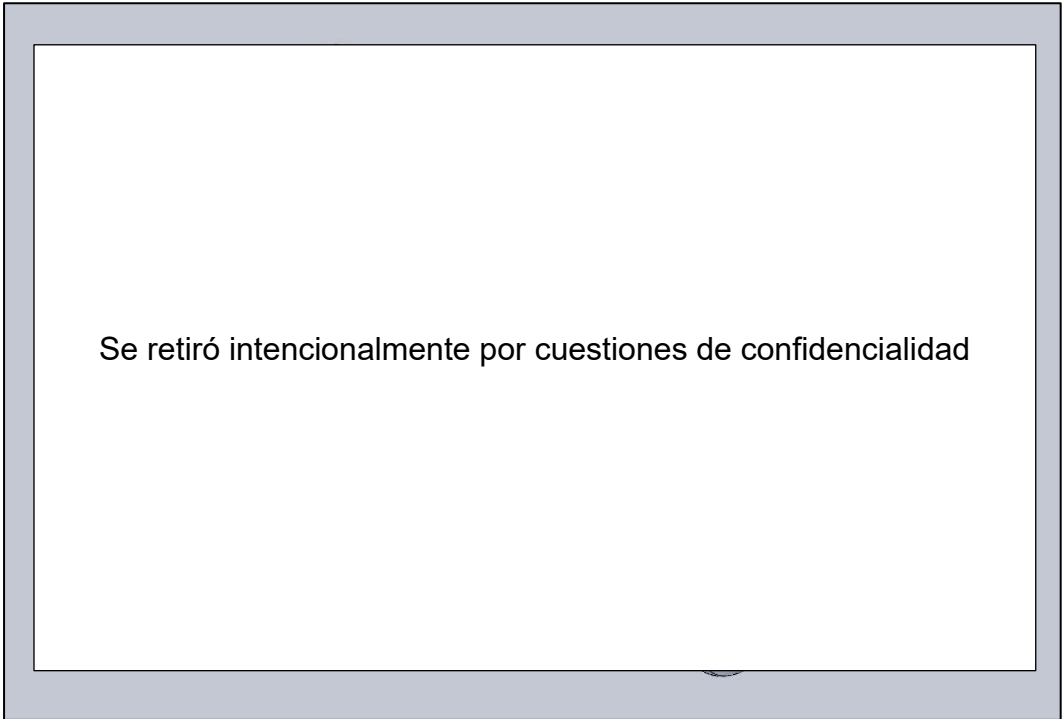
Gap

Se conoce como brecha en español, la distancia excesiva entre dos objetos.

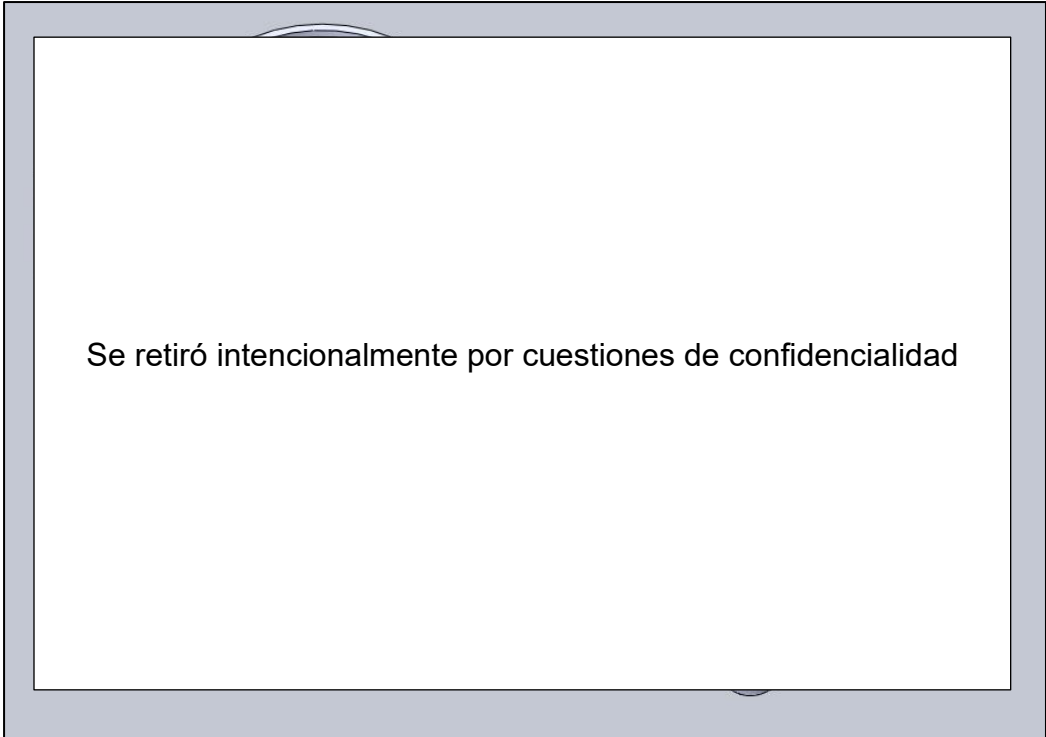
Retorno de la Inversión (ROI)

Indicador financiero que mide la rentabilidad de una inversión en relación con su costo. Se expresa como porcentaje y permite evaluar la eficiencia de un proyecto.

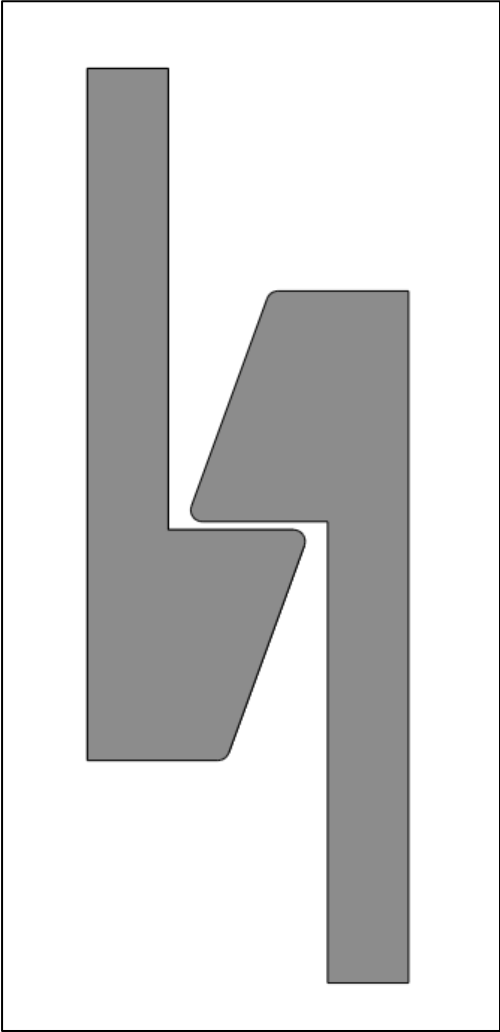
APÉNDICE 2: Carcasa parte inferior



APÉNDICE 3: Carcasa parte superior



APÉNDICE 4: Cierre mecánico Snap Fit



ANEXO 1: Hoja técnica del Loctite 4011



Technical Data Sheet

LOCTITE® 4011™

December 2020

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE® 4011™ provides the following product characteristics:

Technology	Cyanoacrylate
Chemical Type	Ethyl cyanoacrylate
Appearance (uncured)	Transparent, colorless to straw colored liquid ^{MS}
Components	One part - requires no mixing
Viscosity	Low
Cure	Humidity
Application	Bonding
Key Substrates	Metals, Plastics and Elastomers

LOCTITE® 4011™ is designed for the assembly of difficult-to-bond materials which require uniform stress distribution and strong tension and/or shear strength. LOCTITE® 4011™ is particularly suited for bonding porous or absorbent materials such as wood, paper, leather and fabric. Suitable for use in the assembly of **disposable medical devices**. The product provides rapid bonding of a wide range of materials, including metals, plastics and elastomers.

ISO-10993

LOCTITE® 4011™ has been tested to Henkel's test protocols based on ISO 10993 biocompatibility standards, as a means to assist in the selection of products for use in the medical device industry.

TYPICAL PROPERTIES OF UNCURED MATERIAL

Specific Gravity @ 25 °C	1.06
Flash Point - See SDS	
Viscosity, Cone & Plate, mPa·s (cP):	
Temperature: 25 °C, Shear Rate: 3,000 s ⁻¹	70 to 110
Viscosity, Brookfield - LVF, 25°C, mPa·s (cP):	
Spindle 1, speed 30 rpm	90 to 140 ^{MS}

TYPICAL CURING PERFORMANCE

Under normal conditions, the atmospheric moisture initiates the curing process. Although full functional strength is developed in a relatively short time, curing continues for at least 24 hours before full chemical/solvent resistance is developed.

Cure Speed vs. Substrate

The rate of cure will depend on the substrate used. The table below shows the fixture time achieved on different materials at 22 °C / 50 % relative humidity. This is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm².

Fixture Time, seconds:

Steel	20 to 45
Aluminum	2 to 10
Zinc dichromate	10 to 30
Neoprene	<5
Rubber, nitrile	<5
ABS	1 to 2
PVC	3 to 10
Polycarbonate	5 to 10
Phenolic	<2
Wood (balsa)	<1
Wood (oak)	10 to 30
Wood (pine)	10 to 20
Chipboard	5 to 10
Fabric	10 to 20
Leather	5 to 10
Paper	5 to 10

Cure Speed vs. Bond Gap

The rate of cure will depend on the bondline gap. Thin bond lines result in high cure speeds, increasing the bond gap will decrease the rate of cure.

Cure Speed vs. Humidity

The rate of cure will depend on the ambient relative humidity. Higher relative humidity levels result in more rapid speed of cure.

Cure Speed vs. Activator

Where cure speed is unacceptably long due to large gaps, applying activator to the surface will improve cure speed. However, this can reduce ultimate strength of the bond and therefore testing is recommended to confirm effect.

TYPICAL PROPERTIES OF CURED MATERIAL

Cured for 1 week @ 22°C

Physical Properties:

Coefficient of Thermal Expansion, ISO 11359-2, K ⁻¹	107×10 ⁻⁶
Coefficient of Thermal Conductivity, ISO 8302, W/(m·K)	0.4
Glass Transition Temperature ISO 11359-2, °C	121

Electrical Properties:

Volume Resistivity, IEC 60093, Ω·cm	277×10 ¹⁵
Surface Resistivity, IEC 60093, Ω	69×10 ¹⁵



Dielectric Breakdown Strength, IEC 80243-1, kV/mm	33
Dielectric Constant / Dissipation Factor, IEC 60250:	
1 kHz	2.72 / 0.02
1 MHz	2.53 / 0.02
10 MHz	2.42 / 0.01

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL
Adhesive Properties

Cured for 10seconds @ 25°C

Tensile Strength, ISO 6922:	
Buna-N	N/mm ² ≥6,9 ^{MS} (psi) (≥1,000)

Cured for 72 hours @ 22°C

Tensile Strength, ISO 6922:	
Buna-N	N/mm ² 8 to 15 (psi) (1,200 to 2,200)
Steel (grit blasted)	N/mm ² 7 to 16 (psi) (1,000 to 2,300)

Lap Shear Strength, : Steel (grit blasted)	N/mm ² 17 to 24 (psi) (2,500 to 3,500)
---	--

Aluminum (etched)	N/mm ² 2 to 11 (psi) (290 to 1,600)
Zinc dichromate	N/mm ² 0.5 to 2 (psi) (70 to 290)

ABS	N/mm ² 7 to 9 (psi) (1,000 to 1,300)
-----	--

PVC	N/mm ² 7 to 16 (psi) (1,000 to 2,300)
-----	---

Phenolic	N/mm ² 1 to 5 (psi) (150 to 730)
----------	--

Polycarbonate	N/mm ² 7 to 11 (psi) (1,000 to 1,600)
---------------	---

Nitrile	N/mm ² 1 to 2 (psi) (150 to 290)
---------	--

Neoprene	N/mm ² 1 to 2 (psi) (150 to 290)
----------	--

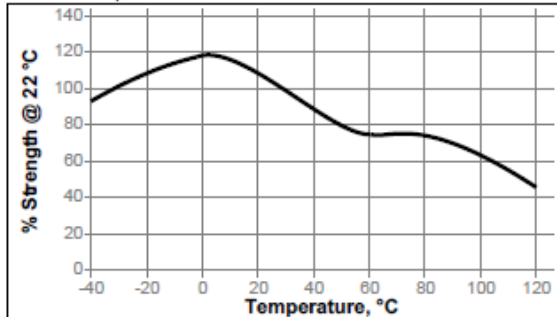
TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE

Cured for 1 week @ 22°C

Lap Shear Strength, ISO 4587:	
Steel (grit blasted)	

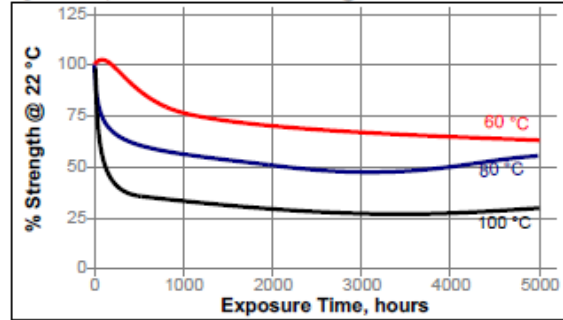
Hot Strength

Tested at temperature



Heat Aging

Aged at temperature indicated and tested @ 22 °C



Chemical/Solvent Resistance

Aged under conditions indicated and tested @ 22 °C

Environment	°C	% of initial strength			
		100 h	500 h	1000 h	5000 h
Motor oil	40	120	110	110	85
Unleaded gasoline	22	85	80	80	75
Ethanol	22	100	105	110	120
Isopropanol	22	100	110	105	120
Water	22	80	70	55	65
98% RH	40	70	60	55	55

Lap Shear Strength, ISO 4587:
Polycarbonate

Environment	°C	% of initial strength			
		100 h	500 h	1000 h	5000 h
Air	22	120	125	115	130
98% RH	40	120	110	120	115

Effects of Sterilization

In general, products similar in composition to LOCTITE® 4011™ subjected to standard sterilization methods, such as EtO and Gamma Radiation (25 to 50 kiloGrays cumulative) show excellent bond strength retention. LOCTITE® 4011™ maintains bond strength after 1 cycle of steam autoclave. It is recommended that customers test specific parts after subjecting them to the preferred sterilization method. Consult with Loctite® for a product recommendation if your device will see more than 3 sterilization cycles.

GENERAL INFORMATION

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials.

For safe handling information on this product, consult the Safety Data Sheet (SDS).

Directions For Use:

1. For best performance bond surfaces should be clean and free from grease.
2. This product performs best in thin bond gaps (0.05 mm).
3. Excess adhesive can be dissolved with Loctite cleanup solvents, nitromethane or acetone.

For the most direct access to local sales and technical support visit: <https://www.henkel-adhesives.com>

Storage

Store product in the unopened container in a dry location. Storage information may be indicated on the product container labeling.

Optimal Storage: 2 °C to 8 °C. Storage below 2 °C or greater than 8 °C can adversely affect product properties. Material removed from containers may be contaminated during use. Do not return product to the original container. Henkel Corporation cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Henkel Representative.

Loctite Material Specification^{LMS}

LMS dated December 29, 2009. Test reports for each batch are available for the indicated properties. LMS test reports include selected QC test parameters considered appropriate to specifications for customer use. Additionally, comprehensive controls are in place to assure product quality and consistency. Special customer specification requirements may be coordinated through Henkel Quality.

Conversions

$(^{\circ}\text{C} \times 1.8) + 32 = ^{\circ}\text{F}$
 $\text{kV/mm} \times 25.4 = \text{V/mil}$
 $\text{mm} / 25.4 = \text{inches}$
 $\mu\text{m} / 25.4 = \text{mil}$
 $\text{N} \times 0.225 = \text{lb}$
 $\text{N/mm} \times 5.71 = \text{lb/in}$
 $\text{N/mm}^2 \times 145 = \text{psi}$
 $\text{MPa} \times 145 = \text{psi}$
 $\text{N}\cdot\text{m} \times 8.851 = \text{lb}\cdot\text{in}$
 $\text{N}\cdot\text{m} \times 0.738 = \text{lb}\cdot\text{ft}$
 $\text{N}\cdot\text{mm} \times 0.142 = \text{oz}\cdot\text{in}$
 $\text{mPa}\cdot\text{s} = \text{cP}$

Disclaimer

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. The product can have a variety of different applications as well as differing application and working conditions in your environment that are beyond our control. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product. Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS and Henkel France SA please additionally note the following:

In case Henkel would be nevertheless held liable, on whatever legal ground, Henkel's liability will in no event exceed the amount of the concerned delivery.

In case products are delivered by Henkel Colombiana, S.A.S. the following disclaimer is applicable:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Corporation, or Henkel Canada Corporation, the following disclaimer is applicable:

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits. The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

Trademark usage

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Reference 1.5

ANEXO 2: Nordson, Ultimus I-II High Precision Dispensers

Ultimus I-II High Precision Dispensers

A higher level of simple, reliable benchtop fluid dispensing control



Ultimus dispensers bring exceptional process control to medical device, electronics, and other critical dispensing processes.



Dispensing adhesive onto medical components with HPx™ tool.



Dispensing flux onto electronic components.

Featuring simultaneous digital display of all dispenser settings and time adjustment as fine as 0.0001 seconds, Ultimus™ I-II dispensers bring exceptional process control to medical device, electronics, and other critical dispensing processes.

The Ultimus I dispenser has a 0–7.0 bar (0–100 psi) pressure regulator that is suitable for all fluids. The Ultimus II dispenser has 0–1.0 bar (0–15 psi) pressure regulator that provides greater control when dispensing thin fluids.

Both units feature constant-bleed air pressure regulation, which makes adjusting the pressure setting more intuitive. Highly accurate regulation of air pressure makes the Ultimus I-II reliable and easy to use.

Features

- All-digital, multi-function display
- 16 memory settings
- 4-decimal time setting
- Operator lockout of time setting
- Multilingual display options
- Universal power supply

Benefits

- Digital display of all dispensing parameters for better process control
- Save up to 16 dispensing programs to easily transition from one type of application to the next
- Time setting adjustments ≥ 0.0001 for a higher level of precision
- Operator lockout to help maintain a consistent process
- Universal power supply and multiple language display options for worldwide use and support

Part #	Description
7017041	Ultimus I dispenser, 0–7.0 bar (0–100 psi)
7012584	Ultimus I dispenser, 0–7.0 bar (0–100 psi) calibrated to EFD specifications based on NIST standards
7002003	Ultimus II dispenser, 0–1.0 bar (0–15 psi)
7012586	Ultimus II dispenser, 0–1.0 bar (0–15 psi) calibrated to EFD specifications based on NIST standards



more info



Specifications

Item	Specification
Cabinet size	14.3W x 18.1H x 17.3D cm (5.63W x 7.12H x 6.82D")
Weight	2.3 kg (5.0 lb)
Power adapter	AC input: 100–240 VAC (+/-10%), ~50/60Hz, 0.6A DC output: 24 VDC @ 1.04A
Cycle rate	Exceeds 600 cycles per minute
Time range	0.0001–999.9999 s
End-of-cycle feedback circuits	5–24 VDC, 100 mA maximum
Cycle initiate	Foot pedal, finger switch, or 5–24 VDC signal
Input air pressure	5.5–7.0 bar (80–100 psi)
Air output	Ultimus I: 0–7.0 bar (0–100 psi) Ultimus II: 0–1.0 bar (0–15 psi)
Pressure readout accuracy	Ultimus I: ±0.1 bar (±2.0 psi) Ultimus II: ±0.2 bar (±0.3 psi)
Approvals	CE, UKCA, TUV, RoHS, WEEE, China RoHS
Warranty	5 year, no-fault (Americas and Europe) 2 year, no-fault (Asia)

Request a Process Evaluation

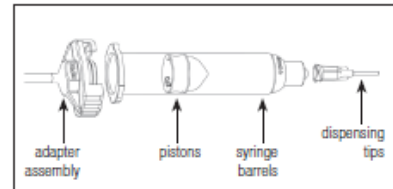
Contact Nordson EFD to configure a precision dispense system that meets your specific needs, with:

- A complimentary process evaluation by experienced fluid dispensing experts.
- Samples processed for customer evaluation and approval prior to purchase.

Don't Forget to Order Your Components

EFD Optimum® components are designed to work with your dispenser as part of a complete, integrated system that produces the most accurate, repeatable deposits possible.

- Adapter assembly
- Syringe barrels
- SmoothFlow™ pistons
- Dispensing tips
- Tip caps and end caps



For Nordson EFD sales and service in over 40 countries, contact Nordson EFD or go to www.nordsonefd.com.

Global
800-556-3484; +1-401-431-7000
info@nordsonefd.com

Europe
00800 7001 7001
infoefd.europe@nordsonefd.com

Asia
China: +86 (21) 3866 9006; china@nordsonefd.com
India: +91 80 4021 3600; india@nordsonefd.com
Japan: +81 03 5762 2760; japan@nordsonefd.com
Korea: +82-31-736-8321; korea@nordsonefd.com
SEAsia: +65 6796 9522; sin-mal@nordsonefd.com

©2024 Nordson Corporation v110624

ANEXO 3: Hoja técnica del Loctite SF 7452

LOCTITE®

Technical Data Sheet

LOCTITE® SF 7452

May 2025

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE® SF 7452 provides the following product characteristics:

Technology	Activator for Cyanoacrylate
Chemical type	Organic disulphide (active ingredient)
Solvent	Acetone
Appearance	Transparent to slightly hazy liquid
Viscosity	Very low
Cure	Not applicable
Application	CA adhesive cure accelerator

LOCTITE® SF 7452 is an activator used where increased cure speed of cyanoacrylate adhesives is required. It can be either pre- or post-applied to the bond. The product is especially suited for post-application on cyanoacrylate adhesive to ensure rapid fixturing. Typical applications include securing wires or coils to PCBs, tamper-proofing adjustable components, mounting stand-offs, edge guides and board stiffeners.

Commercial Item Description A-A-3097:

LOCTITE® SF 7452 has been qualified to commercial item description A-A-3097. **Note:** This is a regional approval. Please contact your local Technical Service Center for more information and clarification.

TYPICAL PROPERTIES

Specific gravity @ 23°C	0.79
Viscosity @ 25°C, mPa·s (cP)	0.4
Drying time @ 23°C, seconds	30
On part life, minutes	5

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL

Effect on cure speed of cyanoacrylate adhesives

Fixture time and cure speed achieved as a result of using LOCTITE® SF 7452 depend on the adhesive used and the substrate bonded. The fixture time is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm².

Fixture Time, ISO 4587, seconds:	
Steel (grit blasted) using LOCTITE® 495, two side activation	10

GENERAL INFORMATION

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials.

For safe handling information on this product, consult the Safety Data Sheet (SDS).

Under no circumstances should activator and adhesive be mixed directly as liquids. Use only in a well ventilated area.

Directions for use

Post activation

1. Apply LOCTITE® cyanoacrylate to the parts to be bonded or fixed.
2. Apply activator over all exposed cyanoacrylate adhesive by spray or drop. (Typically use one drop of activator per drop of exposed adhesive).

Surface activation

1. Apply one coating of Activator to the area to be bonded by spray, brush or dipping. Contaminated surfaces may need special cleaning or degreasing prior to activation to remove any soluble contamination.
2. Allow LOCTITE® SF 7452 to fully evaporate from parts prior to bonding to avoid solvent entrapment within the bond joint.
3. Apply the LOCTITE® cyanoacrylate product immediately after drying.
4. Activator can be re-applied if necessary if there is a delay between original activator and adhesive application.

Handling precautions

Primer must be handled in a manner applicable to highly flammable materials and in compliance with relevant local regulations. The solvent can affect certain plastics or coatings. It is recommended to check all surfaces for compatibility before use.

Storage

Store product in an unopened container in a dry location. Storage information may be indicated on the product container labeling.

Optimal storage: 8 to 21°C. Storage below 8°C or greater than 28°C can adversely affect product properties.

Material removed from containers may be contaminated during use. Do not return product to the original container. Henkel cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Henkel representative.



Not for product specifications

The technical data contained herein are intended as reference only. Please contact your local quality department for assistance and recommendations on the specifications of this product.

Approval and certificate

Please contact Henkel representative for related approval or certificate of this product.

Data ranges

The data contained herein may be reported as a typical value. Values are based on actual test data and are verified on a periodic basis.

Temperature/Humidity Ranges: 23°C / 50% RH = 23±2°C / 50±5% RH

Conversions

(°C x 1.8) + 32 = °F
 kV/mm x 25.4 = V/mil
 mm / 25.4 = inches
 µm / 25.4 = mil
 N x 0.225 = lb
 N/mm x 5.71 = lb/in
 N/mm² x 145 = psi
 MPa x 145 = psi
 N·m x 8.851 = lb·in
 N·m x 0.738 = lb·ft
 N·mm x 0.142 = oz·in
 mPa·s = cP

Disclaimer

The information provided in this Technical data sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. The product can have a variety of different applications as well as differing application and working conditions in your environment that are beyond our control. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product. Any liability in respect of the information in the Technical data sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS and Henkel France SA please additionally note the following:

In case Henkel would be nevertheless held liable, on whatever legal ground, Henkel's liability will in no event exceed the amount of the concerned delivery.

In case products are delivered by Henkel Colombiana, S.A.S. the following disclaimer is applicable:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product. Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Corporation, or Henkel Canada Corporation, the following disclaimer is applicable:


The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, **Henkel Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Henkel Corporation's products. Henkel Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits.** The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Henkel Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more United States or foreign patents or patent applications.

Trademark usage

Except as otherwise noted, all trademarks in this document are trademarks of Henkel Corporation in the U.S. and elsewhere. ® denotes a trademark registered in the U.S. Patent and Trademark Office.

Reference 2

ANEXO 4: Hoja técnica del Loctite SF 770



Technical Data Sheet

LOCTITE® SF 770

Known as LOCTITE® 770
May 2021

PRODUCT DESCRIPTION
LOCTITE® SF 770 provides the following product characteristics:

Technology	Primer for Cyanoacrylate
Chemical Type	Aliphatic amine
Solvent	Isopropyl acetate
Appearance	Transparent to slightly hazy liquid
Fluorescence	Positive under UV light
Viscosity	Very low
Cure	Not applicable
Application	CA surface primer

LOCTITE® SF 770 is a primer used to make polyolefin and other low energy surfaces suitable for bonding with LOCTITE® cyanoacrylate adhesives. On such treated surfaces the cured performance of cyanoacrylate adhesives is generally similar to that described in the TDS for the relevant adhesive. It is only recommended for difficult to bond substrates which include polyethylene, polypropylene, polytetrafluoroethylene (PTFE) and thermoplastic rubber materials. LOCTITE® SF 770 is not recommended in assemblies where high peel strength is required.

TYPICAL PROPERTIES

Specific Gravity @ 23°C	0.87
Viscosity, Cone & Plate, 25°C, mPa·s (cP): Cone: CP50-1, Shear Rate: 3,000 s ⁻¹	0.62
Drying Time @ 23°C, seconds	
Steel	9
Polypropylene	9
Polyethylene	8
On Part Life, hours	8

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL

Adhesive Properties
Substrates treated with primer LOCTITE® SF 770
Cured for 24 hours @ 23 °C / 50% RH:

Block Shear Strength, ISO 13445:

Polypropylene and LOCTITE® 406	N/mm ² 15 (psi) (2,200)
Polypropylene and LOCTITE® 496	N/mm ² 4.8 (psi) (700)
Polypropylene and LOCTITE® 460	N/mm ² 14 (psi) (2,100)
Acetal and LOCTITE® 406	N/mm ² 14 (psi) (2,000)

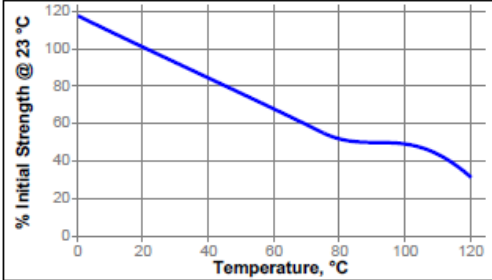
HDPE treated with LOCTITE® SF 770 to:

Mild Steel (Grit Blasted) without primer and LOCTITE® 406	N/mm ² 15 (psi) (2,200)
---	---------------------------------------

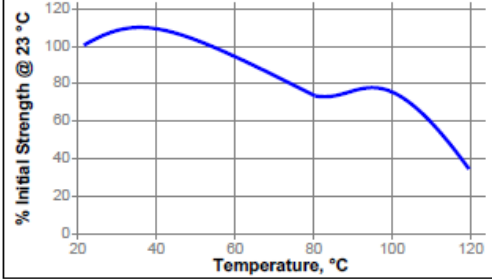
Polypropylene and LOCTITE® 406 (with primer on polypropylene) N/mm² 13
(psi) (1,900)


TYPICAL ENVIRONMENTAL RESISTANCE
Substrates treated with primer LOCTITE® SF 770 and bonded with adhesive LOCTITE® 401™.
Cured for 72 hours @ 23°C / 50% RH
Block Shear Strength, ISO 13445

Hot Strength
Tested at temperature
Polypropylene to Polypropylene



Mild Steel (Grit Blasted) to Polypropylene

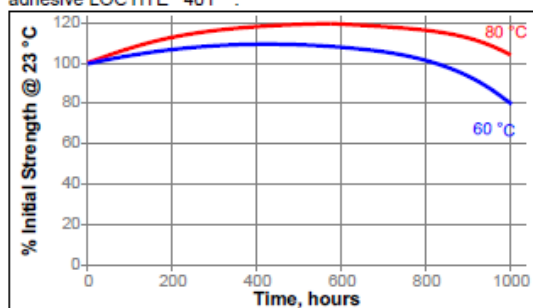




For the most direct access to local sales and technical support visit: www.henkel.com/industrial

Heat Aging

Aged at temperature indicated and tested @ 23 °C,
Polypropylene treated with LOCTITE® SF 770 and bonded with
adhesive LOCTITE® 401™.

**Chemical/Solvent Resistance**

Aged under conditions indicated and tested @ 23 °C,
Substrates treated with primer LOCTITE® SF 770 and bonded
with adhesive LOCTITE® 406™.

Environment	°C	% of initial strength		
		100 h	500 h	1000 h
Water	23	100	100	100
95% RH	40	100	100	100

GENERAL INFORMATION

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials.

For safe handling information on this product, consult the Safety Data Sheet (SDS).

Directions for use

Primer may be applied by spraying, brushing or dipping at ambient temperature. Excess primer should be avoided. Presence of primer may be detected by means of a UV inspection lamp (365 nm). If polyolefin and more active or easier to bond materials are involved, apply the primer to the polyolefin only. For best results, apply LOCTITE® cyanoacrylate adhesive and bond assembly right after the LOCTITE® SF 770 dries on the surface of the substrate.

Handling Precautions

Primer must be handled in a manner applicable to highly flammable materials and in compliance with relevant local regulations. The solvent can affect certain plastics or coatings. It is recommended to check all surfaces for compatibility before use.

Storage

Store product in the unopened container in a dry location. Storage information may be indicated on the product container labeling.

Optimal Storage: 8 °C to 21 °C. Storage below 8 °C or greater than 28 °C can adversely affect product properties. Material removed from containers may be contaminated during use. Do not return product to the original container. Henkel Corporation cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Henkel representative.

Product Specification

The technical data contained herein are intended as reference only and are not considered specifications for the product. Product specifications are located on the Certificate of Analysis or please contact Henkel representative.

Approval and Certificate

Please contact a Henkel representative for related approval or certificate of this product.

Data Ranges

The data contained herein may be reported as a typical value. Values are based on actual test data and are verified on a periodic basis.

Temperature/Humidity Ranges: 23 °C / 50% RH = 23±2 °C / 50 ±5% RH

Conversions

(°C x 1.8) + 32 = °F
kV/mm x 25.4 = V/mil
mm / 25.4 = inches
µm / 25.4 = mil
N x 0.225 = lb
N/mm x 5.71 = lb/in
N/mm² x 145 = psi
MPa x 145 = psi
N·m x 8.851 = lb·in
N·m x 0.738 = lb·ft
N·mm x 0.142 = oz·in
mPa·s = cP

Disclaimer

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. The product can have a variety of different applications as well as differing application and working conditions in your environment that are beyond our control. Henkel is, therefore, not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of our product.

Any liability in respect of the information in the Technical Data Sheet or any other written or oral recommendation(s) regarding the concerned product is excluded, except if otherwise explicitly agreed and except in relation to death or personal injury caused by our negligence and any liability under any applicable mandatory product liability law.

In case products are delivered by Henkel Belgium NV, Henkel Electronic Materials NV, Henkel Nederland BV, Henkel Technologies France SAS and Henkel France SA please additionally note the following:

In case Henkel would be nevertheless held liable, on whatever legal ground, Henkel's liability will in no event exceed the amount of the concerned delivery.

In case products are delivered by Henkel Colombiana, S.A.S. the following disclaimer is applicable:

The information provided in this Technical Data Sheet (TDS) including the recommendations for use and application of the product are based on our knowledge and experience of the product as at the date of this TDS. Henkel is not liable for the suitability of our product for the production processes and conditions in respect of which you use them, as well as the intended applications and results. We strongly recommend that you carry out your own prior trials to confirm such suitability of



For the most direct access to local sales and technical support visit: www.henkel.com/industrial

LOCTITE® SF 7452

May 2025

PRODUCT DESCRIPTION

LOCTITE® SF 7452 provides the following product characteristics:

Technology	Activator for Cyanoacrylate
Chemical type	Organic disulphide (active ingredient)
Solvent	Acetone
Appearance	Transparent to slightly hazy liquid
Viscosity	Very low
Cure	Not applicable
Application	CA adhesive cure accelerator

LOCTITE® SF 7452 is an activator used where increased cure speed of cyanoacrylate adhesives is required. It can be either pre- or post-applied to the bond. The product is especially suited for post-application on cyanoacrylate adhesive to ensure rapid fixturing. Typical applications include securing wires or coils to PCBs, tamper-proofing adjustable components, mounting stand-offs, edge guides and board stiffeners.

Commercial Item Description A-A-3097:

LOCTITE® SF 7452 has been qualified to commercial item description A-A-3097. **Note:** This is a regional approval. Please contact your local Technical Service Center for more information and clarification.

TYPICAL PROPERTIES

Specific gravity @ 23°C	0.79
Viscosity @ 25°C, mPa·s (cP)	0.4
Drying time @ 23°C, seconds	30
On part life, minutes	5

TYPICAL PERFORMANCE OF CURED MATERIAL

Effect on cure speed of cyanoacrylate adhesives

Fixture time and cure speed achieved as a result of using LOCTITE® SF 7452 depend on the adhesive used and the substrate bonded. The fixture time is defined as the time to develop a shear strength of 0.1 N/mm².

Fixture Time, ISO 4587, seconds:

Steel (grit blasted) using LOCTITE® 495, two side activation	10
--	----

GENERAL INFORMATION

This product is not recommended for use in pure oxygen and/or oxygen rich systems and should not be selected as a sealant for chlorine or other strong oxidizing materials.

For safe handling information on this product, consult the Safety Data Sheet (SDS).

Under no circumstances should activator and adhesive be mixed directly as liquids. Use only in a well ventilated area.

Directions for use

Post activation

1. Apply LOCTITE® cyanoacrylate to the parts to be bonded or fixed.
2. Apply activator over all exposed cyanoacrylate adhesive by spray or drop. (Typically use one drop of activator per drop of exposed adhesive).

Surface activation

1. Apply one coating of Activator to the area to be bonded by spray, brush or dipping. Contaminated surfaces may need special cleaning or degreasing prior to activation to remove any soluble contamination.
2. Allow LOCTITE® SF 7452 to fully evaporate from parts prior to bonding to avoid solvent entrapment within the bond joint.
3. Apply the LOCTITE® cyanoacrylate product immediately after drying.
4. Activator can be re-applied if necessary if there is a delay between original activator and adhesive application.

Handling precautions

Primer must be handled in a manner applicable to highly flammable materials and in compliance with relevant local regulations. The solvent can affect certain plastics or coatings. It is recommended to check all surfaces for compatibility before use.

Storage

Store product in an unopened container in a dry location. Storage information may be indicated on the product container labeling.

Optimal storage: 8 to 21°C. Storage below 8°C or greater than 28°C can adversely affect product properties.

Material removed from containers may be contaminated during use. Do not return product to the original container. Henkel cannot assume responsibility for product which has been contaminated or stored under conditions other than those previously indicated. If additional information is required, please contact your local Henkel representative.



ANEXO 5: Hoja técnica del Dukane Infinity X4

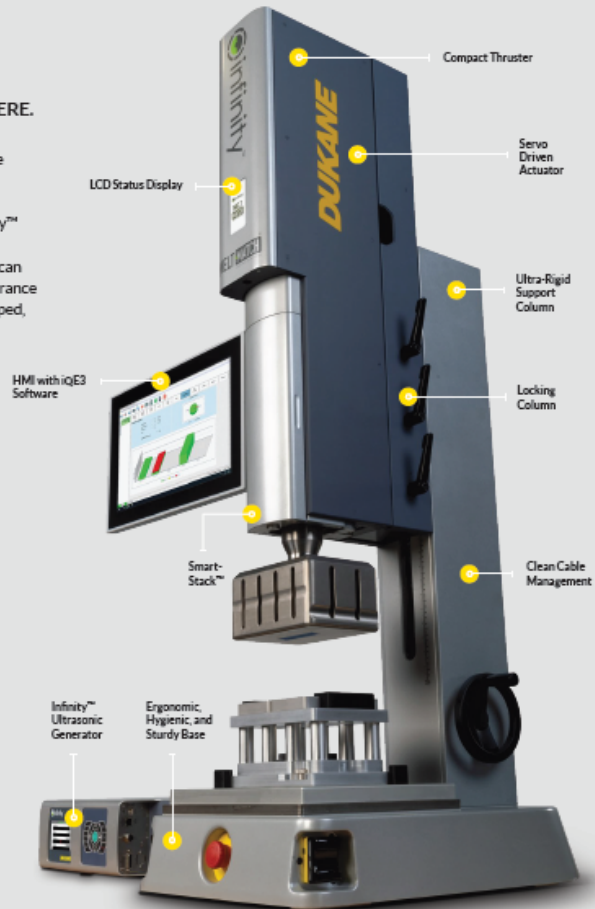
INTRODUCING THE INFINITY™ ULTRASONIC WELDING LINE FROM DUKANE



THE NEXT GENERATION OF ULTRASONIC WELDING IS HERE.

Defining the future of ultrasonic welding. The new Infinity™ family of ultrasonic welders allow for customization of all critical parameters of the plastic joining process, and is designed to handle the most demanding production environments. Utilizing features such as a new graphical user interface with iQ Explorer 3 proprietary software, state-of-the-art Infinity™ power generator, new Smart-Stack™ integration and Melt-Match® technologies, Infinity™ is positioned to solve many common issues which can occur in ultrasonic plastic welding. Integrated with advanced quality assurance monitoring, the new Infinity™ ultrasonic plastic welding line is fully equipped, out-of-the-box, to meet your most demanding production requirements.

- + ACCURATELY & REPEATABLY CONTROLS ALL PHASES OF THE ULTRASONIC WELDING PROCESS
- + MEANINGFUL DATA FOR INSTANT PART VALIDATION
- + TIGHTER CONTROL OF DIMENSIONAL ACCURACY
- + EASILY TRANSFER A PROVEN WELDING PROCESS THROUGHOUT GLOBAL MANUFACTURING FACILITIES
- + FAST DOWNSTROKE/UPSTROKE SPEED WITH A NEW PROPRIETARY SERVO ACTUATOR & CONTROLLER
- + EASY TOOL CHANGE WITH SMART-STACK™ QUICK CHANGE SYSTEM
- + REDUCES PART STRESS, PARTICULATE, & IMPROVES BOND STRENGTH WITH MELT-DETECT™
- + WELD BY DISTANCE, POSITION, ENERGY, & PEAK POWER
- + POST WELD CONTROL WITH DYNAMIC & STATIC HOLD
- + PROGRAMMABLE VELOCITY, FORCE, & AMPLITUDE WITH PROFILING FEATURES
- + EQUIPPED WITH ADVANCED GRAPHING, CYCLE DATA COLLECTION, & PRODUCTION ANALYSIS
- + ADVANCED DIAGNOSTICS
- + SUSTAINABLE TECHNOLOGY — NO COMPRESSED AIR REQUIRED
- + MULTILINGUAL GRAPHICAL USER INTERFACE



REDUCE OPERATING COSTS

Infinity™ is simple to set up, optimize and maintain. Simple and intuitive weld process validation reduces time to market, saves on labor costs, reduces cycle time and allows for a confident transfer of validated welding processes to multiple welders across your global manufacturing operation.

ENSURE PRODUCT QUALITY

Infinity™ with Melt-Match® reduces part stress and weld particulate, provides stronger, more reliable welds, delivers tighter control of dimensional accuracy, producing higher quality welds resulting in reduced scrap, higher outputs and improved ROI.

FDA COMPLIANCE

Maintain stringent FDA compliance with advanced data collection, process parameter monitoring, and weld data storage options provided by Infinity™. Combined with integrated FDA 21 CFR-11 security and process modification monitoring, Infinity™ ensures welding accuracy and reliability, preventing possible costly product recalls.

MEET PROJECT DEADLINES

Over 100 years of engineering expertise provides expedited feasibility evaluations and in-depth product design reviews to quickly get your program online and to market. Multiple global engineering and manufacturing locations provide local engineering assistance, ensuring program timelines are maintained and supported wherever your manufacturing locations may be.



EXPLORE THE FUTURE OF ULTRASONIC WELDING.

DUKANE.COM/INFINITY

DUKANE LEADING WHERE OTHERS FOLLOW



APPROACH: Provides faster approach to the weld position while ensuring that the contact force does not exceed the programmed value

INITIATE: Precise force, position or power measurement used to initiate the ultrasonic welding process. Melt-Detect™ is the patented process of resuming motion once the material has started to become molten

CONTROL: Melt-Match® parameters control the welding process "in motion". Velocity or force profiles can be set in 10 programmable steps to better control the flow of molten material

POST WELD: Ability to program "Dynamic" and "Static" hold by which the welded parts are held for re-solidification

REPORT: More meaningful data collection

NEW & IMPROVED TECHNOLOGY

- + Improved base design & functionality to meet medical industry expectations
- + Easy to swap Smart-Stack™ cassette-style ultrasonic stack assembly with lockable horn orientation for effortless ultrasonic stack installation and removal
- + Real time closed-loop velocity or force control
- + STO (Safe Torque Off) feature in the proprietary servo controller to meet the most stringent safety requirements
- + More accurate & simpler force calibration procedure
- + Distance resolution of 1 µm standard, Higher resolution to 0.1 µm – optional
- + Completely new Infinity™ ultrasonic generator with the newest in Dukane technology
- + Generator and servo controller communication via Ethernet
- + New intuitive IQE3 user interface with enhanced resolution, GUI design, easier navigation experience, & improved graphs with touch screen input for easy programming
- + Long actuator life, up to 100 MM cycles
- + Industry 4.0. OPC UA connectivity standard

infinity X4 THRUSTER SPECIFICATIONS

THRUSTER MODEL	ULTRASONIC FREQUENCY	STROKE		MAXIMUM WELD FORCE		LINEAR ENCODER RESOLUTION	
		in.	mm	lb.	N	in.	µm
43NTX4N	15 & 20	5	127	1000	4450	0.00004	1



EXPLORE THE FUTURE OF ULTRASONIC WELDING.

DUKANE.COM/INFINITY

DUKANE LEADING WHERE OTHERS FOLLOW

ANEXO 6: Hoja técnica del software de Dukane Infinity X4

DUKANE

Intelligent Assembly Solutions

iQ Explorer

USER-INTERFACE FEATURES

The iQ-HMI include a 15" color industrial PC with touch screen, compact flash solid state drive (no moving parts) two USB ports, and one Ethernet port. Windows embedded operating system. Rugged metal housing with mounting holes for standard VESA 75 Support arms. IEC C14 plug w/internal 110/230 VAC power supply.



FEATURES

iQ Explorer User Interface

- **Windows operating system** uses familiar file folder menu structure, requires no special training to program and operate.
- **Touch screen input** for ease of programming. All welder setup parameters are programmed from one menu page.
- **Ethernet connectivity** for connection to local area network or stand-alone applications.
- **Supervisory password** control features for lock-out of system controls.
- **Remote connectivity** to Dukane's 24 hour hotline for system diagnostics and troubleshooting ensures minimized down time.

iQ Process Control

To optimize the welding process and produce the strongest and most consistent weld results, it is critical to look at all phases of the welding process for each application.

Pre-weld Control

- **Electronic Load Cell** provides closed loop programmable trigger force.
- **Pre-trigger by Distance, Force, Velocity, Power,** or Automation input options are available.

Weld Controls/Modes

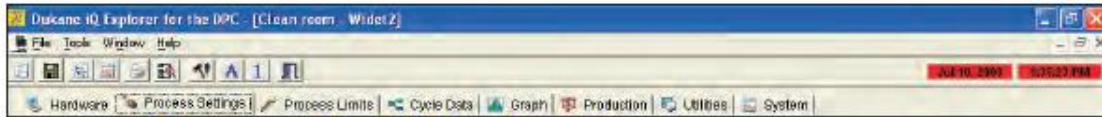
- **Electronic pressure regulator** coupled with pressure transducer provides closed loop control and monitor of weld pressure. Programmable by force or pressure.
- **Pressure Profiling** up to 20 segments.
- **Linear Optical Encoder** with a one-micron resolution over seven inches of usable travel for excellent precision and repeatability.
- **Primary and Secondary Control Functions** offer total flexibility in process control, reducing rejects and increasing part consistency.
- **Weld by Time.**
- **Weld by Energy** delivers a specific amount of energy to the work.
- **Weld by Distance** controls the collapse distance to ensure that the same volume of material melts on each part so the finish joint strength is consistent.
- **Weld by Absolute Distance** controls the finish part height to yield uniform assemblies.
- **Weld by Peak Power** terminates the ultrasound when the available joint material is completely melted.

Post-weld Control

- **Secondary Hold Pressure** is available for increased clamping force to pack out molten material while increasing bond strength.
- **Hold by Time, Distance or Auto (Velocity).**

www.dukane.com/us • e-mail: ussales@dukane.com

Dukane Corporation • Ultrasonics Division • 2900 Dukane Drive • St. Charles, Illinois 60174 USA • TEL (630) 797-4900 • FAX (630) 797-4949



iQ- HMI Features

- **Intuitive menu structure**, uses familiar windows file folder layout and icons.
- **One screen process settings page** last weld data displayed simplifies programming.
- **F1 Help command** instantly displays explanation of function.
- **iQ Explorer GUI operates independently** of generator. Removal or malfunction of HMI does not affect machine functionality. One HMI can be used for multiple machines.
- **User-programmable cycle data screen** displays up to 27 unique weld parameters for monitoring operating parameters.
- **User programmable process limits** are displayed on cycle data screen. Bad Part and Suspect Part limits - up to 22 parameters are available. Eliminate the need for expensive SPC packages.
- **Two user-selectable data storage locations** store data on USB drive, local area network, C drive and generator memory.
- **Data is stored based on user-selectable time intervals.** Shifts can be specified to create unique data file for each programmed period.
- **Save part data from multiple welders to one file option.** Ideal for multi-headed weld applications or multi-welder work cells.
- **Reference footprint** consists of the user-selectable weld graph that gives a tool for finite weld process parameter optimization.
- **Eight user-selectable graph parameters** -Velocity, Energy, Power, Distance, Amplitude, Frequency, Force and Pressure for viewing and storage of each weld. Exportable in comma delimited format for easy integration in SPC programs.
- **Production analysis screen** displays 8-hour shift production statistics: Good, bad, suspect quantities and percentages. Ideal for instant monitoring of production.
- **Advance stack diagnostics** includes power and frequency graphs for stack (horn) documentation and future reference for troubleshooting.

iQ Explorer operates on Windows operating system independently of the ultrasonic system. Usable on most computer platforms, desktop, tablet, notebook or industrial PC, and does not require proprietary hardware from Dukane.

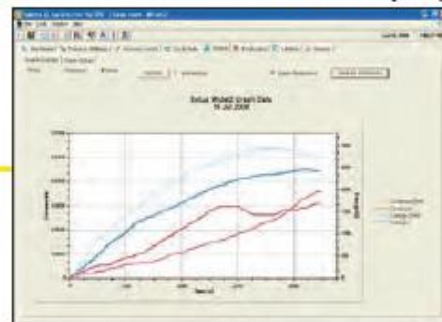
Process Settings



Cycle Data

Part No.	Weld No.	Weld Type	Weld Date	Weld Time	Weld Energy	Weld Power	Weld Distance	Weld Amplitude	Weld Frequency	Weld Force	Weld Pressure
1001	1001	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1002	1002	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1003	1003	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1004	1004	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1005	1005	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1006	1006	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1007	1007	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1008	1008	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1009	1009	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1010	1010	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1011	1011	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1012	1012	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1013	1013	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1014	1014	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1015	1015	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1016	1016	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1017	1017	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1018	1018	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1019	1019	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1020	1020	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1021	1021	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1022	1022	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1023	1023	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1024	1024	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1025	1025	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1026	1026	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234
1027	1027	Weld	10/10/2009	1.23	1234	1234	1234	1234	1234	1234	1234

Advanced Graphing



Production Data



iQ Explorer 15" HMI-09-0018-00

Note: All specifications are subject to change without notice. Please consult Dukane Ultrasonics for any updated information.

DUKANE
ISO 9001
www.dukane.com/ISO-Cert.pdf

