



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ACTIVIDADES REALIZADAS EN EL
DEPARTAMENTO DE ENGINEERING-
SUSTAINING PARA LA EMPRESA
CHAMBERLAIN GROUP**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

Marcos Damián López López

ASESOR DE INFORME

Dr. Fernando Velázquez Villegas



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

1. INTRODUCCIÓN	2
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	2
2.1 CHAMBERLAIN GROUP	2
2.2 PERFIL DEL PUESTO	3
3. ANTECEDENTES	4
4. DESARROLLO	5
4.1 <i>PRODUCTIVITY</i> - REDISEÑO DE TABLERO (PCB) PARA TRANSMISORES DE 3 CANALES-	5
4.1.1 <i>Definición del problema</i>	5
4.1.2 <i>Metodología</i>	6
4.1.3 <i>Resultados</i>	9
4.1.3.1 <i>Stack-up análisis</i>	9
4.1.3.2 <i>Push-out test</i>	15
4.1.4 <i>Conclusiones</i>	16
4.2 <i>CONTINUITY OF SUPPLY</i> -RESINA ALTERNATIVA PARA PANELES TRASEROS USADOS EN GDO- . .	17
4.2.1 <i>Descripción del problema</i>	17
4.2.2 <i>Metodología</i>	18
4.2.3 <i>Resultados</i>	18
4.2.3.1 <i>GAP análisis</i>	18
4.2.3.2 <i>CQP (Component Qualification Process)</i>	19
4.2.3.3 <i>Análisis dimensional</i>	20
4.2.3.4 <i>Pruebas de ingeniería</i>	21
4.2.3.5 <i>Corrida controlada</i>	22
4.2.4 <i>Conclusiones</i>	22
4.3 <i>MANUFACTURING LINE SUPPORT</i> -TRANSMISORES CON BAJA AMPLITUD-.....	23
4.3.1 <i>Descripción del problema</i>	23
4.3.2 <i>Metodología</i>	24
4.3.3 <i>Resultados</i>	27
4.3.3.1 <i>Stack-up análisis</i>	27
4.3.3.2 <i>Experimento 1</i>	29
4.3.3.3 <i>Experimento 2</i>	29
4.3.3.4 <i>Diseño de experimentos (DOE)</i>	30
4.3.3.5 <i>Experimento 3</i>	32
4.3.4 <i>Conclusiones</i>	33
5. CONCLUSIONES	34
6. BIBLIOGRAFÍA	35

1. Introducción

El presente reporte abarca las actividades profesionales realizadas durante el periodo del 13 de enero de 2020 al 13 de agosto de 2021. Dichas actividades se realizaron bajo el puesto de *Mechanical Engineer I* en el departamento de *Engineering-Sustaining* para la empresa Chamberlain Group. El puesto tiene como principales objetivos: dar soporte a la línea de producción, implementar proyectos de reducción de costos; así como rediseñar componentes y productos mediante el uso de técnicas y herramientas de ingeniería.

Este reporte tiene como objetivo mostrar un proyecto de cada tarea principal dentro del departamento (*Continuity of Supply, Manufacturing line Support, Productivity*), donde las actividades de ingeniería tienen un alto impacto que resultan en un beneficio para el negocio.

2. Descripción de la empresa

2.1 Chamberlain Group

Chamberlain Group es líder mundial en soluciones de acceso inteligente en propiedades residenciales y comerciales. Entre sus marcas destacan: LiftMaster®, Chamberlain®, Merlin® y Grifco®. Es una empresa global con sede corporativa en los Estados Unidos, junto con importantes operaciones de producción en México. El equipo tiene presencia global en Canadá, Alemania, Australia, Nueva Zelanda, China, Hong Kong y Taiwán.

Los productos que se desarrollan y manufacturan brindan a los clientes soluciones de acceso inteligente para moverse de manera segura a través de garajes, hogares, negocios e instalaciones.

Anteriormente nombrada Permamex y absorbida por Chamberlain Group en 1973, la sede clave de manufactura se encuentra en Nogales, en el estado de Sonora; aquí se realizan diferentes actividades como inyección de plásticos, estampado de metales, pintado, hasta llegar al ensamble y empaquetado final del producto terminado.

El negocio está dividido en las siguientes áreas: RAS (*Residential Access Systems*), CAS (*Comercial Access Systems*) y GAS (*Garage Access Systems*).

2.2 Perfil del puesto

Puesto: *Mechanical Engineer I*

Departamento: *Engineering-Sustaining*

El departamento se divide en tres áreas de acuerdo con las diferentes unidades de negocio: RAS, CAS, GAS.

Contando con alrededor de tres ingenieros asignados en cada área, con la intención de generar en ellos un conocimiento específico en el tipo de productos que se comercializan.

En mi caso, trabajando en el área de RAS, el puesto requería aplicar principios y conocimientos de ingeniería mecánica para dar soporte a proyectos de productividad, mantenimiento y rediseño de productos con un nivel de complejidad medio-alto; así como la capacidad de resolución de problemas en un ambiente multidisciplinario.

Al reportar directamente al corporativo en Oakbrook, Illinois (Ver Figura 1) el inglés tanto conversacional como técnico es indispensable; así como la capacidad de sintetizar y presentar información en los diferentes foros con compañeros y *stakeholders*.

Entre las principales actividades que desarrollé se encuentran:

- Participar en análisis de falla y causa raíz, así como en la resolución de problemas y su validación mediante pruebas funcionales, de confiabilidad y diseño de experimentos en los tiempos acorde a las necesidades del negocio.
- Utilizar herramientas de ingeniería para realizar análisis de tolerancias, DFMEA y FEA en ensambles y componentes para asegurar la funcionalidad y la calidad del producto.
- Crear y dar mantenimiento de dibujos 2D, así como la documentación asociada al diseño.
- Crear y dar mantenimiento a listas de materiales (BOM) en SAP mediante cambios de ingeniería.
- Realizar modelos 3D de componentes para diferentes procesos de manufactura como doblado de metal, moldeado de plásticos, maquinado, etc.
- Calificar componentes y vendedores.
- Calificar y proponer materiales o componentes sustitutos para evitar paros en la línea de producción.

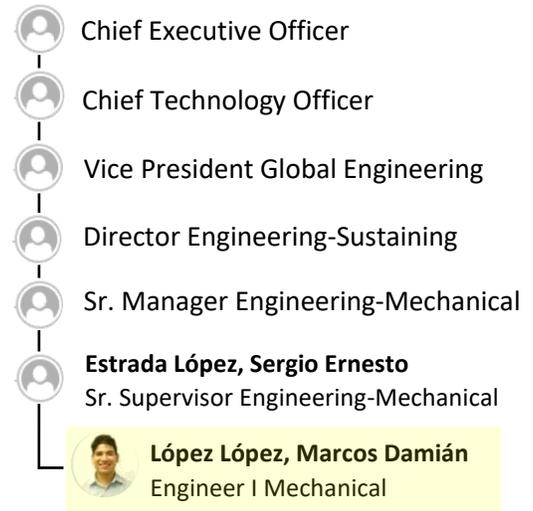


Figura 1. Diagrama organizacional

3. Antecedentes

Para abordar el desarrollo de los proyectos es necesario mencionar cual es la importancia de estos; así como los retos enfrentados desde el punto de vista de la ingeniería.

Como ingeniero de *sustaining*, las principales tareas asignadas se encuentran en el siguiente diagrama:

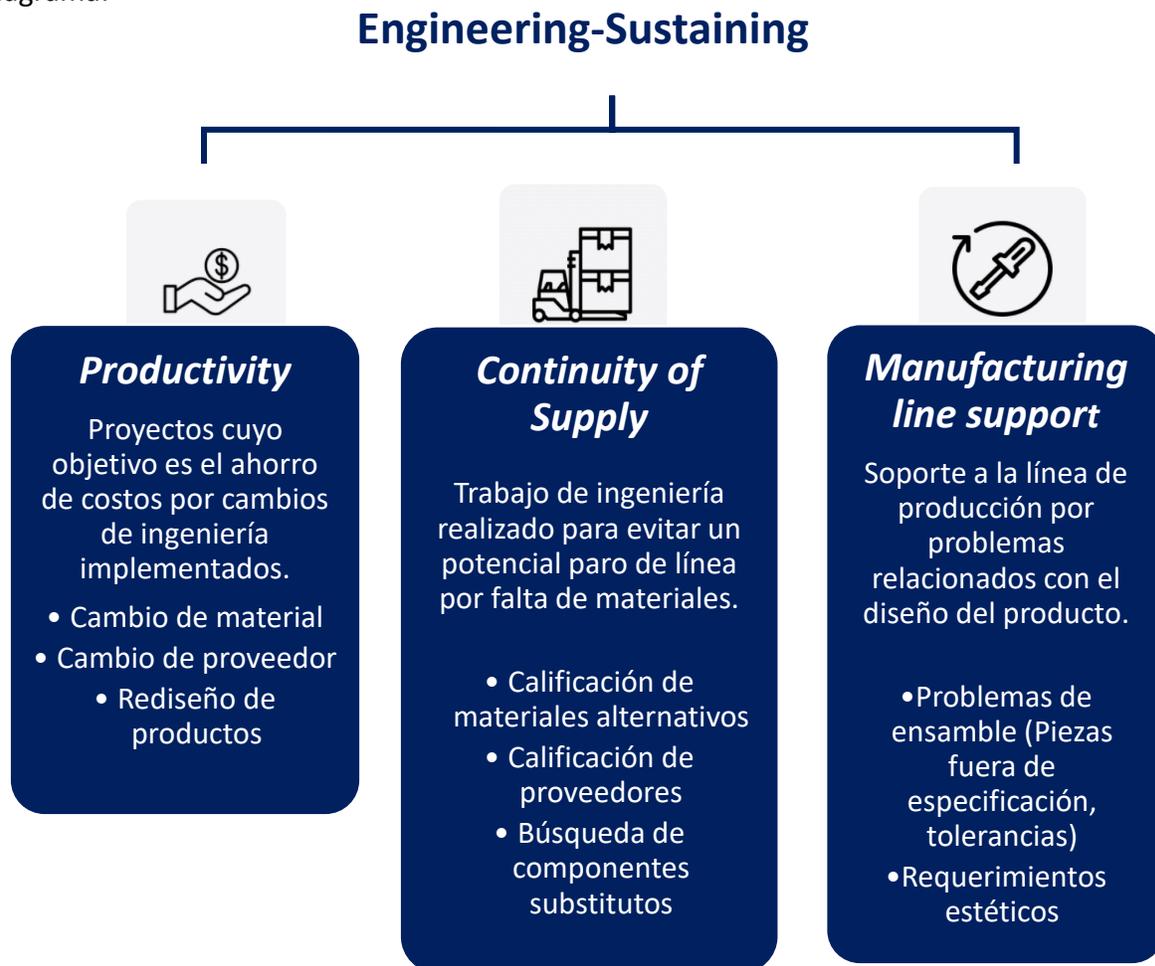


Figura 2. Principales actividades

Después del cierre temporal por el inicio de la pandemia por Covid-19 a inicios de marzo de 2020, los proyectos de productividad tomaron una gran importancia, convirtiéndose en la prioridad más alta para el negocio, ya que se necesitaba recuperar el impacto económico generado.

De igual forma, el desabasto de materiales a nivel mundial provocó que muchas órdenes no pudieran ser cubiertas, por lo que era necesario validar materiales o componentes alternativos en un periodo de tiempo muy corto para evitar nuevos paros de línea.

Todas estas situaciones requerían idear, planear y ejecutar estrategias de validación distintas, sin descuidar la calidad y el buen funcionamiento del producto.

4. Desarrollo

En esta sección se presentarán de manera condensada el desarrollo de tres proyectos, cubriendo cada tarea principal, con la intención de mostrar el alcance del puesto y las labores desempeñadas.

Cada proyecto es independiente entre sí. Estos serán presentados bajo su propia metodología.

4.1 Productivity - Rediseño de tablero (PCB) para transmisores de 3 canales-.

4.1.1 Definición del problema

El proyecto consistía en rediseñar el tablero (PCB) (Ver Figura 5) de los controles de 3 canales (Ver Figura 3) para reemplazar el método de montaje de los componentes.

Actualmente se utilizan componentes THT -*Trough hole*- y se quería reemplazar por SMT -*Surface Mounting*-.



Figura 3. Control remoto de 3 canales

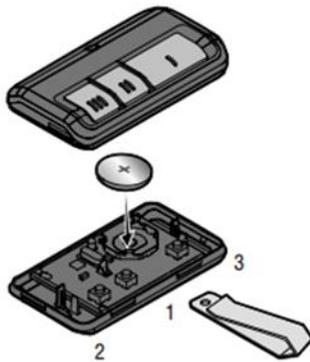


Figura 4. Ensamble del control. ^[1]

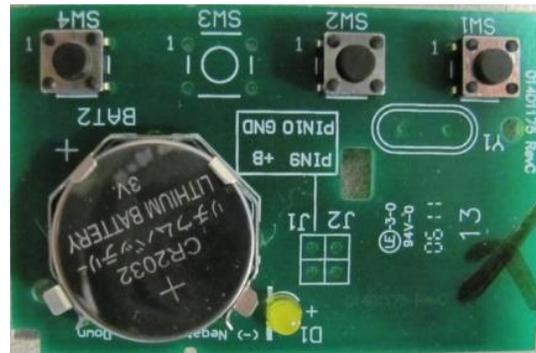


Figura 5. Tablero actual (PCB)
THT -Trough hole-. ^[2]

Una breve comparación de ambos métodos se muestra en la Figura 6.

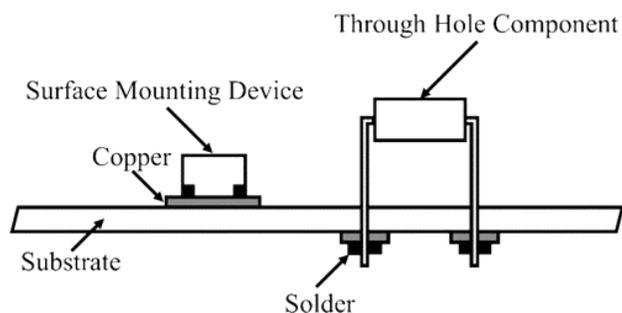


Figura 6. THT vs SMT ^[3]

Por otro lado, existía la opción de adaptar un componente utilizado actualmente para otros productos, cuyo diseño ya había sido validado en el pasado para la misma aplicación.

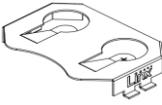
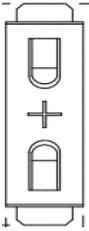
Descripción	BATTERY HOLDER OUTLINE CR2032, CR2025 SURFACE MOUNT	20 MM SM COIN CELL CLIP	CR2032 BATTERY STRAP, SMT	CLIP BATTERY- THT- (DISEÑO DE CGI)
				
Dimensiones generales [in]	.90"x.65"	1.21"x.782"	1"x.27"	.879"x.26"
Espesor [in]	.010"	.010"	.010"	.012"
Material	PHOSPHOR BRONZE #C-5191	PHOSPHOR BRONZE	PHOSPHOR BRONZE	COPPER ALLOY 770
Acabado	NICKEL PLATE	NICKEL PLATE	NICKEL PLATE	TIN PLATE
Vendedor	LINX	KEYSTONE	MPD	

Figura 8. Comparativa entre propuestas

Se utilizó un DFMEA (*Design Failure Mode and Effect Analysis*) para identificar y evaluar los potenciales riesgos del sistema, basado en las funciones del componente; así como aquellos controles preventivos para mitigarlos durante el proceso de diseño.

Para este ejercicio, se entiende como controles de prevención, aquellas verificaciones a realizar durante el proceso de diseño, ya sea por estudios analíticos, análisis por computadora o pruebas en prototipos para eliminar la posible falla. Mientras que el objetivo de las acciones recomendadas es reducir el riesgo en la severidad y ocurrencia.

Las salidas de este análisis se describen en la tabla 1. Los resultados de los controles de prevención se describen en la sección 4.1.3.

Requerimiento	Potencial Modo de Falla	Potencial Causa	Controles de Prevención	Acciones recomendadas
El <i>battery holder</i> debe mantener asegurada la batería durante su uso y trasportación.	Interferencia entre la batería y el switch.	Ubicación incorrecta del <i>battery holder</i> en el tablero.	<i>Stack-up</i> análisis	Interferencia no permitida en MMC.
	Interferencia entre el <i>battery holder</i> y la cubierta superior del control.	Ubicación incorrecta del <i>battery holder</i> en el tablero.	<i>Stack-up</i> análisis	Interferencia no permitida en MMC.
	Contacto deficiente entre la batería y el <i>battery holder</i> .	La batería puede estar mal posicionada durante su inserción.	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas de ensamble • Pruebas de <i>push-out</i> 	Comparar valores de pruebas de <i>push-out</i> entre tableros THT y SMT.
	Contacto deficiente entre la batería y el <i>battery holder</i> .	La batería presenta juego en el <i>battery holder</i> y puede salirse durante un escenario de caída del control.	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas de <i>push-out</i> • Pruebas de caída 	Comparar valores de pruebas de <i>push-out</i> entre tableros THT y SMT.

Tabla 1. Resultados DFMEA

Basado en los resultados de este análisis, se clasificaron las opciones de acuerdo con la tabla 2.

Opción	Descripción	Ventajas	Desventajas
1		<ul style="list-style-type: none"> • Producto comercial. • La geometría asegura la batería una vez insertada. 	Las dimensiones podrían dificultar su posicionamiento.
2		<ul style="list-style-type: none"> • La geometría fue diseñada para la misma aplicación y ha sido validada en el pasado. • La geometría permite posicionarlo libremente. 	Es necesario rediseñar algunas características para adaptaras a SMT.
3		<ul style="list-style-type: none"> • Producto comercial. • La geometría asegura la batería una vez insertada. 	Las dimensiones podrían dificultar su posicionamiento.
4		<ul style="list-style-type: none"> • Producto comercial. • La geometría permite posicionarlo libremente. 	La geometría no asegura de manera fija la batería una vez insertada.

Tabla 2. Clasificación de opciones

4.1.3 Resultados

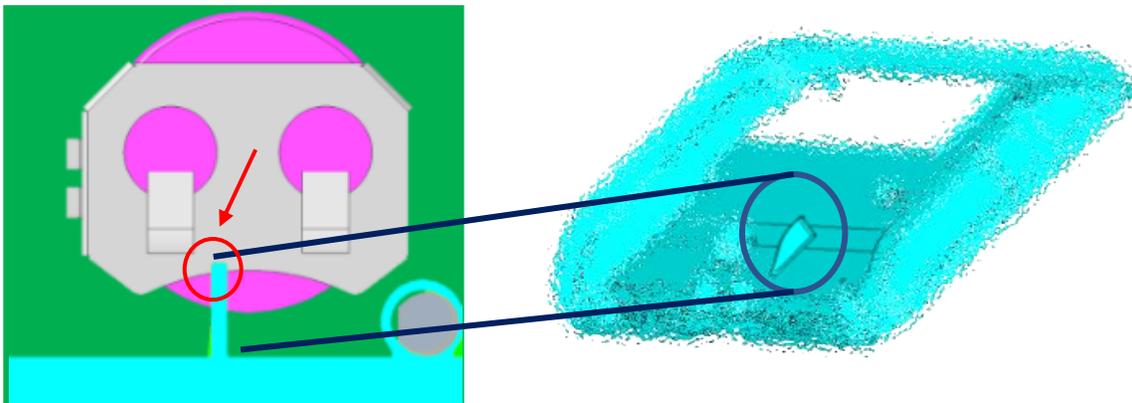
4.1.3.1 Stack-up análisis

Objetivo: Determinar la posición del *battery holder* en el tablero para evitar una posible interferencia entre los siguientes componentes:

- Escenario 1: Batería-switch (Ver Figura 8)
- Escenario 2: *Battery holder* – Cubierta superior (Ver Figura 9)



*Figura 8. Modelo 3D del ensamblaje del control
Interferencia Batería-Switch*



*Figura 9. Modelo 3D del ensamblaje del control
Interferencia Battery holder - Cubierta superior
Imagen modificada por propiedad intelectual.*

Se evaluaron las opciones de acuerdo con su clasificación en la tabla 2. La variable manipulada fue la posición. (D-Figura 10, E-Figura 11).

Los resultados se enuncian a continuación:

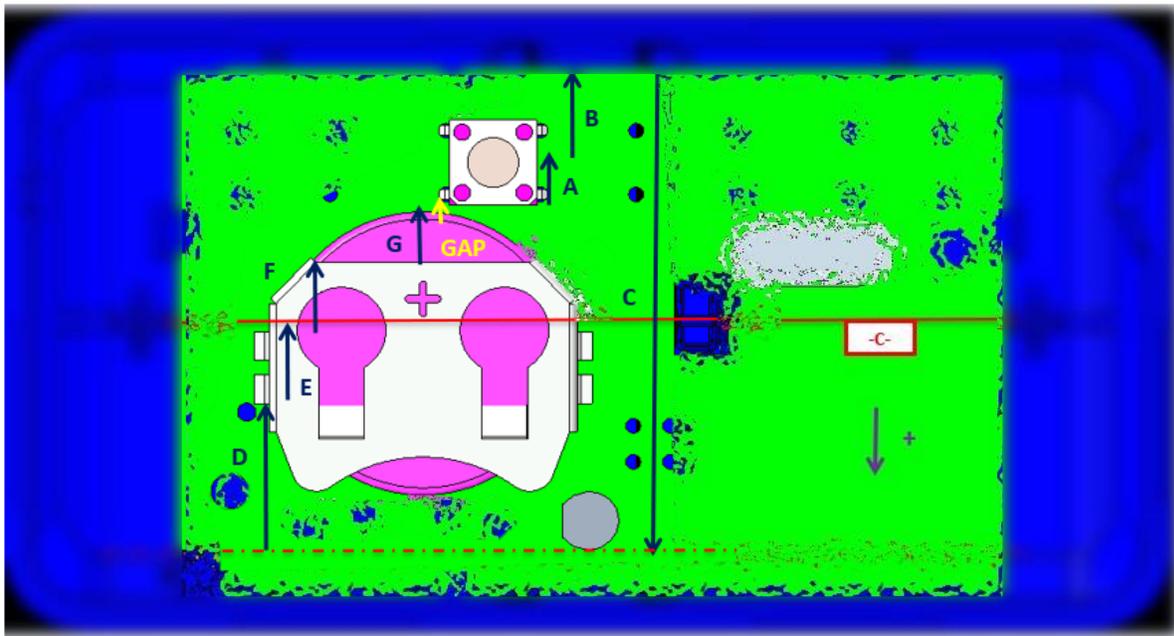
MIN GAP: El caso en el que la condición de material es máxima (MMC), se calcula el potencial menor espacio entre ambos componentes. Si el valor es negativo significa que el espacio no existe, es decir, se presenta una interferencia.

NOMINAL GAP: El caso en el que se calcula el espacio entre ambos componentes, basado en sus valores nominales.

MAX GAP: El caso en el que la condición de material es mínima (LMC), se calcula el potencial mayor espacio entre ambos componentes.

a) Opción 1 (BATTERY HOLDER OUTLINE, CR2032, CR2025 SURFACE MOUNT)

Escenario 1: Batería-Switch



*Figura 10. Descripción del lazo
Opción 1, Escenario 1
Imagen modificada por propiedad intelectual.*

Description		Nom	Tol (+)	Tol (-)	Cpk
A	Switch's dimension	-0.1180	0.0070	0.0070	
B	Switch's position (Center to edge of PCB)	-0.2600	0.0100	0.0100	
C	PCB edge to slot edge	1.3300	0.0100	0.0100	
D	Battery hold position	-0.4000	0.0100	0.0100	
E	Terminal's pads	-0.2000	0.0100	0.0100	
F	Terminal height	-0.1910	0.0100	0.0100	
G	Battery GAP	-0.1290	0.0060	0.0060	
SUM		0.0320	0.0630	0.0630	
MIN GAP		-0.0310			
NOMINAL GAP		0.0320			
MAX GAP		0.0950			

Tabla 3. Resultados del análisis
Opción 1, Escenario 1

Escenario 2: Battery holder – Cubierta superior

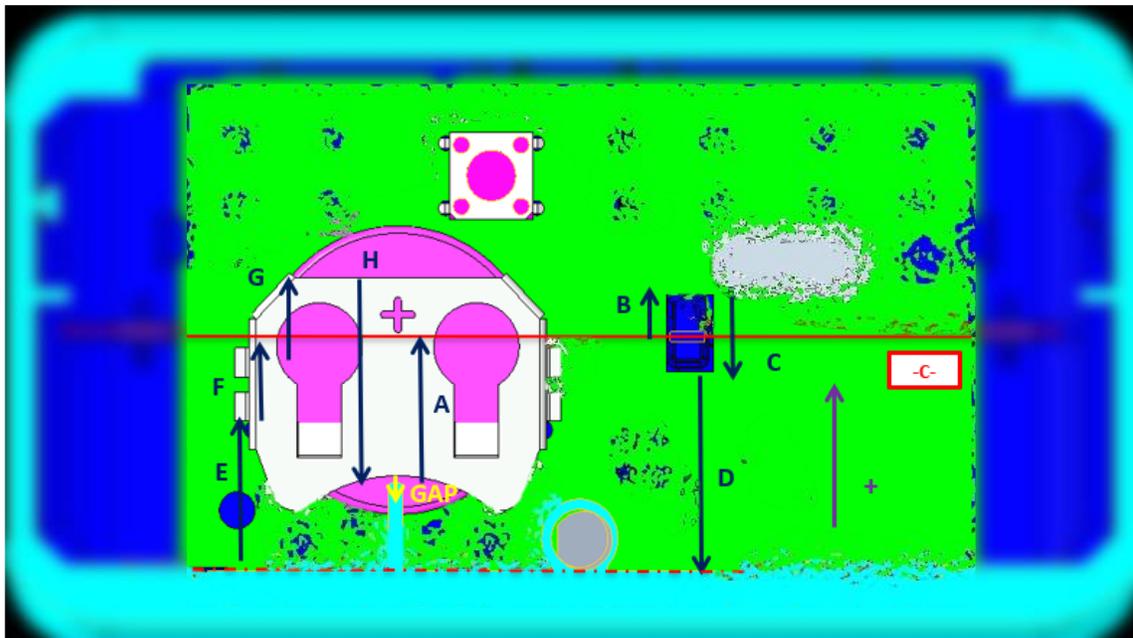


Figura 11. Descripción del lazo
Opción 1, Escenario 2
Imagen modificada por propiedad intelectual.

Description		Nom	Tol (+)	Tol (-)	Cpk
A	Rib edge to Datum C	0.4000	0.0050	0.0050	
B	Datum C to Rib's edge	0.1150	0.0050	0.0050	
C	Rib's edge to edge PCB	-0.2150	0.0050	0.0050	
D	Zero PCB to PCB edge	-0.5350	0.0050	0.0050	
E	Battery hold position	0.4000	0.0100	0.0100	
F	Terminal's distance	0.2000	0.0100	0.0100	
G	Terminal height	0.1910	0.0100	0.0100	
H	Total terminal's height	-0.5290	0.0100	0.0100	
SUM		0.0270	0.0600	0.0600	
MIN GAP		-0.0330			
NOMINAL GAP		0.0270			
MAX GAP		0.0870			

Tabla 4. Resultados del análisis
Opción 1, Escenario 2

Después de realizar varias iteraciones manipulando la posición, y considerando que esta debe ser solución a ambos escenarios, se llegó a la conclusión que no existía valor alguno que lo lograría. Puesto que se necesita asegurar que no exista interferencia en MMC (*Maximum Material Condition*).

Por ello, se prosiguió a evaluar la opción 2.

- b) Opción 2 (CLIP BATTERY-THT-)
Escenario 1: Batería-Switch

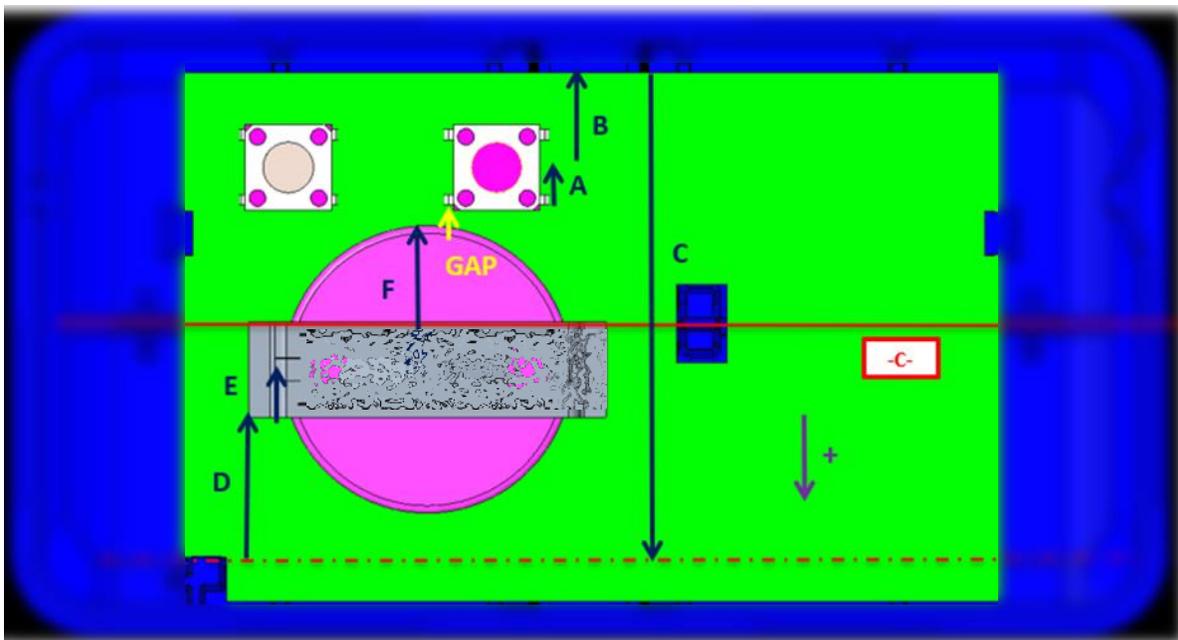


Figura 12. Descripción del lazo
Opción 2, Escenario 1

Imagen modificada por propiedad intelectual.

Description		Nom	Tol (+)	Tol (-)	Cpk
A	Switch's height (Middle)	-0.1180	0.0070	0.0070	
B	Switch's position (Center to edge of PCB)	-0.2600	0.0100	0.0100	
C	PCB edge bottom to slot edge	1.3300	0.0100	0.0100	
D	Battery hold position	-0.3350	0.0100	0.0100	
E	Terminal's pads	-0.1000	0.0100	0.0100	
F	Battery radius	-0.3937	0.0050	0.0050	
SUM		0.1233	0.0520	0.0520	
MIN GAP		0.0713			
NOMINAL GAP		0.1233			
MAX GAP		0.1753			

Tabla 5. Resultados del análisis
Opción 2, Escenario 1

Escenario 2: Battery holder – Cubierta superior

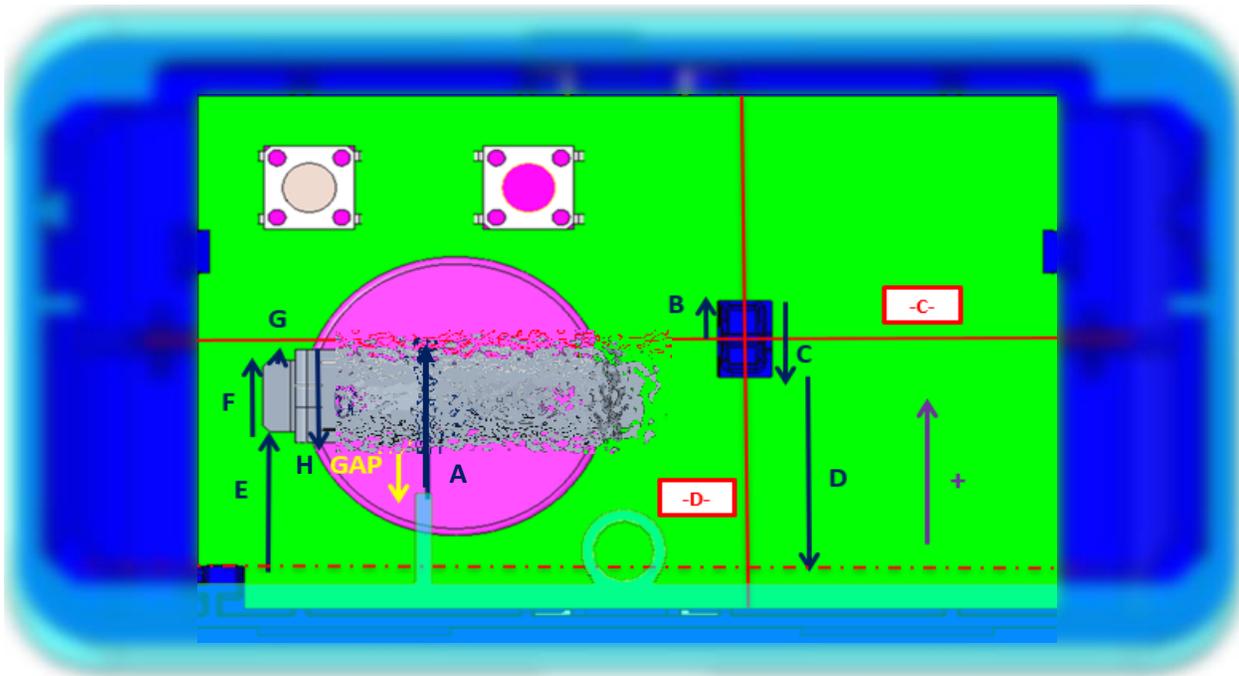


Figura 13. Descripción del lazo
Opción 2, Escenario 2
Imagen modificada por propiedad intelectual.

Description		Nom	Tol (+)	Tol (-)	Cpk
A	Rib edge to Datum C	0.4000	0.0050	0.0050	
B	Datum C to Rib's edge	0.1150	0.0050	0.0050	
C	Rib's edge to edge slot	-0.2150	0.0050	0.0050	
D	Edge slot to PCB edge	-0.5350	0.0050	0.0050	
E	Battery hold position	0.3350	0.0100	0.0100	
F	Terminal height	0.2000	0.0050	0.0050	
G	Terminal edge to Battery holder edge	0.0300	0.0050	0.0050	
H	Battery Holder height	-0.2600	0.0100	0.0100	
SUM		0.070	0.040	0.040	
MIN GAP		0.0200			
NOMINAL GAP		0.0700			
MAX GAP		0.1200			

Tabla 6. Resultados del análisis
Opción 2, Escenario 2

Después de realizar varias iteraciones, se determinó la posición de la siguiente manera. (Ver Figura 14).

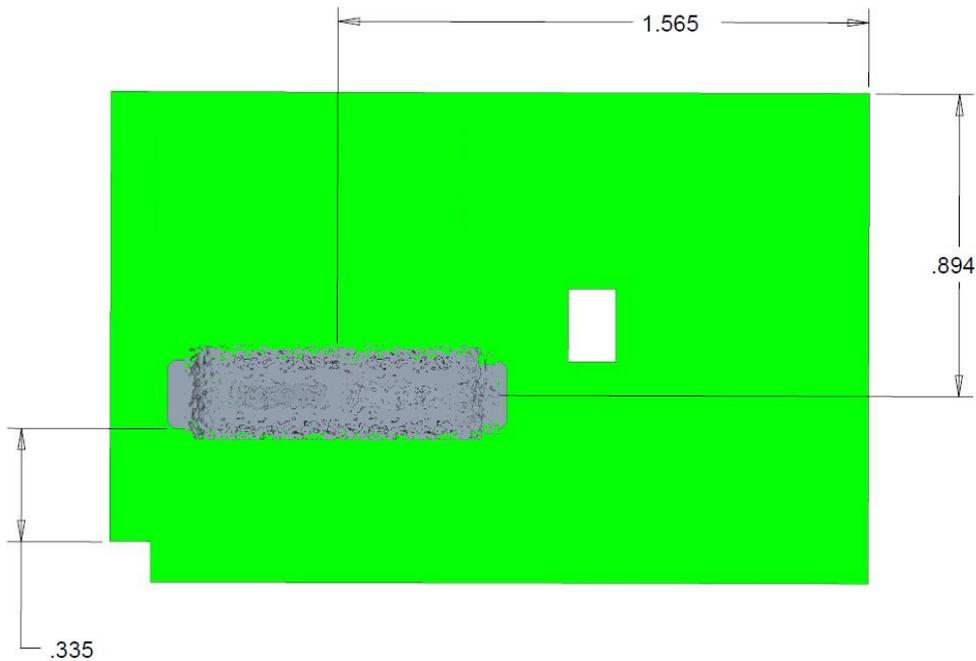


Figura 14. Posicionamiento final
Imagen modificada por propiedad intelectual.

4.1.3.2 Push-out test

Objetivo: Determinar la fuerza máxima para deslizar la batería en el *battery holder* hasta el lado contrario donde se ingresó (Ver Figura 15).

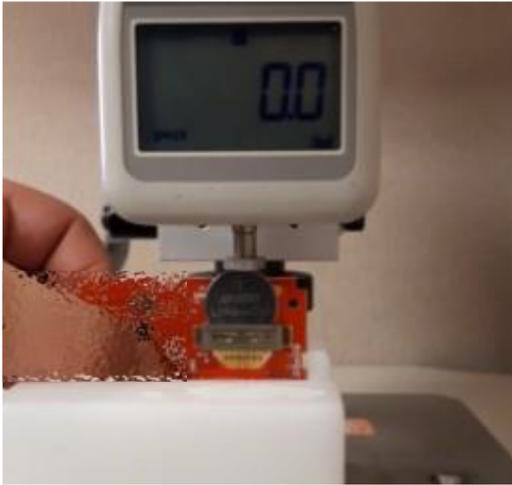


Figura 15a. Estado inicial para prueba de Push-out



Figura 15b. Estado final para prueba de Push-out

Inicialmente, se tomaron mediciones de fuerza en 10 muestras del producto actual (THT), para comparar los valores con los obtenidos en los tableros ensamblados con componentes SMT. El valor máximo y mínimo se tomaron como referencia. (Ver Figura 16). Se obtuvieron datos de 30 muestras con los nuevos tableros con el fin de tener datos suficientes para un análisis estadístico.

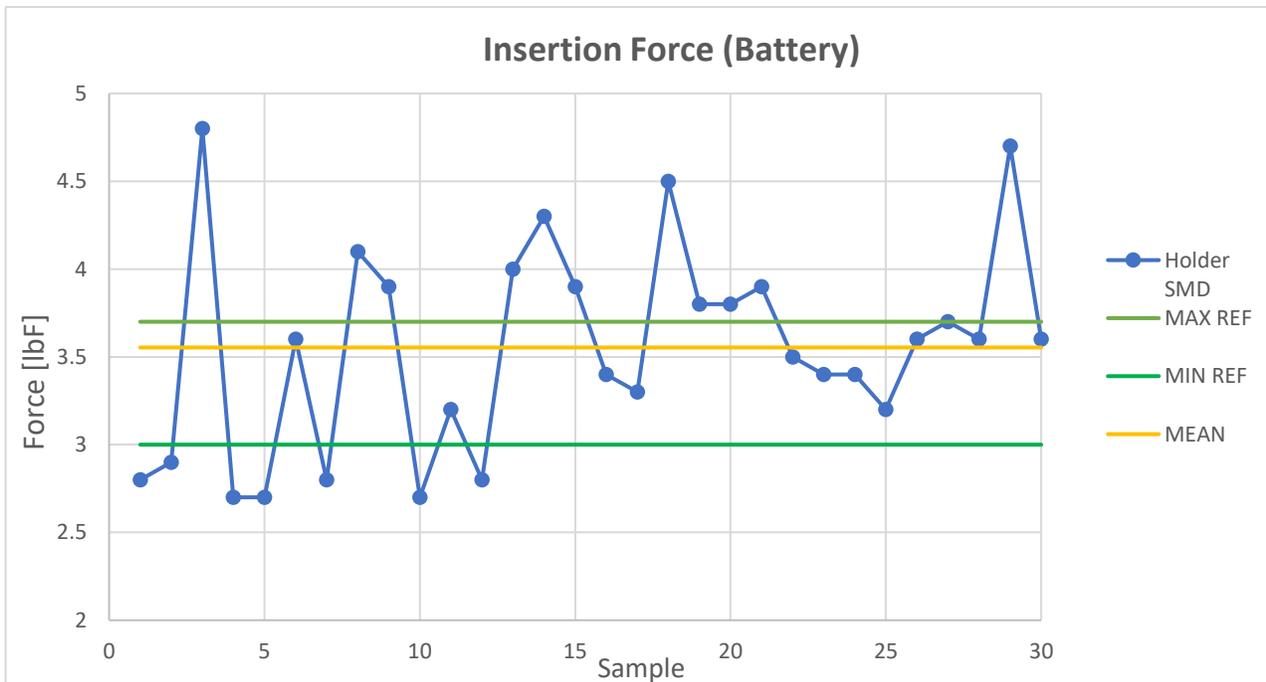


Figura 16. Valores de fuerza máxima (THT vs STM)

Insertion Force SMT [Lbf]	
MAX	4.80
MIN	2.70
SIGMA	0.59
MEAN	3.55

Tabla 7. Resultados condensados (Prueba de Push-out)

En la gráfica (Figura 16) se muestra la distribución de los valores de fuerza medidos. En la Tabla 7 se muestra los valores calculados.

4.1.4 Conclusiones

Basado en los resultados del *Stack-up* análisis se optó por la opción #2 y se ubicó de acuerdo con la Figura 14. En esta posición no existe interferencia en ninguno de los dos escenarios en la condición de máximo material (MMC), y el mínimo espacio es de .071 [in] y .020 [in], respectivamente.

Dado que la opción #2 requería modificaciones para adaptarlo a la tecnología SMT, se rediseñaron las terminales basadas en productos comerciales (Opción #4). El diseño final se muestra en la Figura 18.



Figura 17. Battery holder -THT-
Imagen modificada por propiedad intelectual.



Figura 18. Battery holder -SMT-
Imagen modificada por propiedad intelectual.

Se concluyó que estas modificaciones en el diseño no representan un cambio en el comportamiento mecánico de la batería, ya que los resultados de las pruebas de *Push-out* muestran que el valor de la media es 3.55 [Lbf], el cual está dentro de los límites de los valores de las muestras actuales. Además, el valor mínimo de estas muestras -SMT- (2.7 [Lbf]) está a solo 0.3 [Lbf] del mínimo encontrado en las muestras de referencia.

En las 30 muestras no se presentaron problemas de ensamble y la retroalimentación de los operadores es que la sensación en el proceso era muy similar al actual.

Después de ejecutar los controles de prevención y las acciones recomendadas, se determinó que se contaba con un nivel de confianza suficiente que permitió liberar el diseño del tablero para una primer ESL (*Engineering Sample Lot*) que se usaría en una posterior DVT (*Design Validation Test*), la cual incluyó pruebas eléctricas, mecánicas, ambientales y regulatorias para verificar que se cumplieran las especificaciones del producto.

Al día que se escribe este reporte, las pruebas han sido concluidas y superadas.

Se requirieron de 3 ciclos de pruebas, donde los mayores cambios fueron eléctricos, y el producto se planeaba introducir para el año 2022.

4.2 *Continuity of Supply* -Resina alternativa para paneles traseros usados en GDO-

4.2.1 Descripción del problema

El proyecto consistía en validar una resina para utilizarse como material alternativo, durante un periodo de tiempo, debido al desabasto de materiales; con la finalidad de evitar paros en la línea de producción. El material se utiliza en los paneles traseros para diferentes modelos de GDO (*Garage Door Opener*). Ver Figura 19.

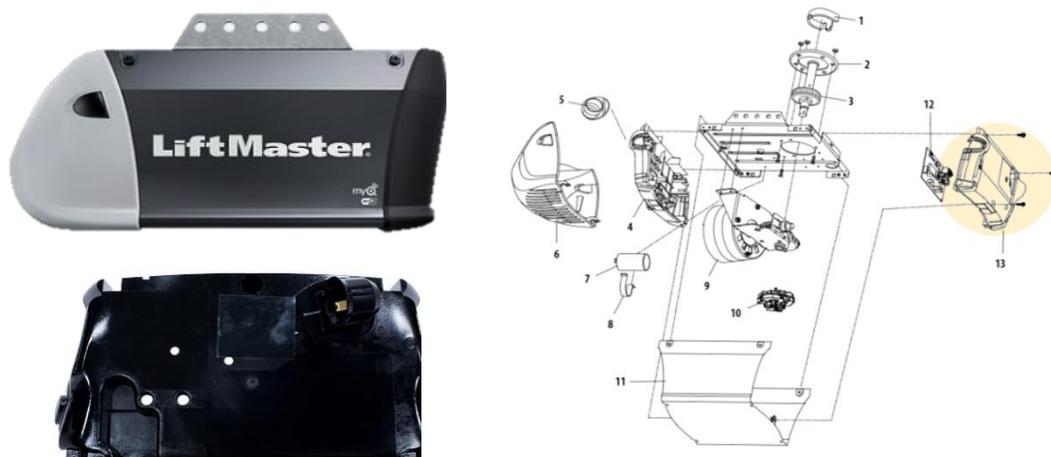


Figura 19. Modelo 8165W^[4]
Descripción de uso del panel (#13)

El material es policarbonato, la resina actual es LEXAN ML 1655R y la propuesta es STAR PCQP7022R.

El cambio se requería introducir en cuatro partes diferentes, que pertenecen a una misma familia, donde los cambios geométricos son mínimos. Las partes se utilizan en diferentes modelos y estas son producidas internamente en la planta de moldeo de CGI.

Dado que esta resina ya es utilizada en otros componentes bajo la misma aplicación, el ejercicio estuvo enfocado en validarla para esta familia cuya geometría es diferente.

4.2.2 Metodología

La metodología para la validación de componentes se muestra a continuación:

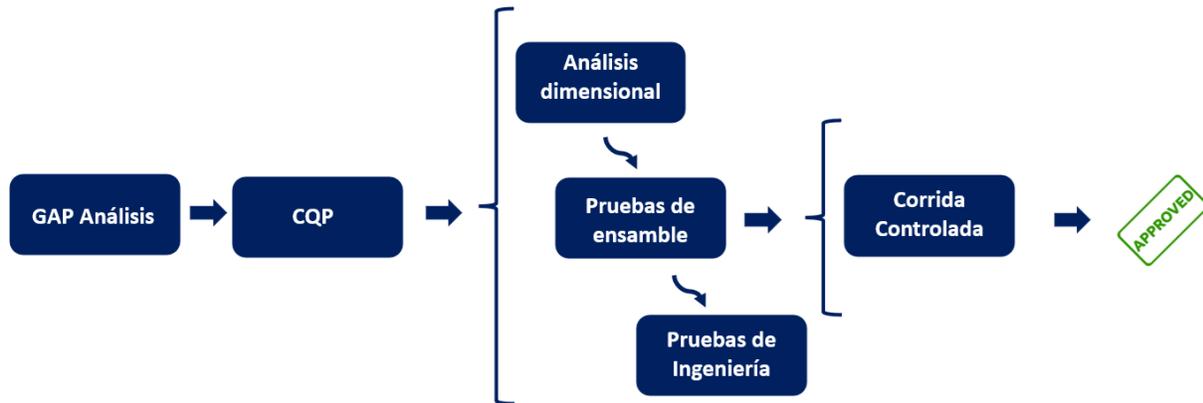


Figura 20. Metodología de validación

- a. **GAP Análisis:** Consiste en hacer una comparativa entre la resina actual y la propuesta, con la finalidad de identificar y cuantificar las diferencias en propiedades físicas; así como su potencial efecto.
- b. **CQP (Component Qualification Process):** Una vez hecha la primera evaluación (GAP análisis) e identificado los cambios y su potencial impacto, se solicitan los requisitos necesarios para la validación de cada área funcional (Calidad, Ingeniería, Manufactura, Regulatoria).
- c. **Análisis dimensional:** Se realizan mediciones de las partes; el tipo de mediciones y la cantidad de muestras son definidas por las áreas ingeniería y calidad.
- d. **Pruebas de ingeniería:** Pruebas de confiabilidad o funcionamiento; la cantidad y el tipo de prueba es definido por el área de ingeniería.
- e. **Corrida controlada:** Se realiza una corrida de producción para validar el proceso de ensamble; el tiempo y cantidad de partes es definido por el área de manufactura.

4.2.3 Resultados

4.2.3.1 GAP análisis

Se evaluaron propiedades físicas, mecánicas y térmicas. Los resultados se muestran la Figura 21.

La similitud en propiedades físicas (*Melt Flow Rate*, *Mold Shrinkage*) sugieren una mínima variación en el proceso de moldeo, por lo que se esperarían partes dentro de especificación.

Por otro lado, la variación en propiedades mecánicas y térmicas es mínima y podría considerarse despreciable; sin embargo, se recomiendan pruebas de impacto dada la aplicación del componente.

Ambos materiales tienen designación V-0 para el estándar UL94 de flamabilidad.

MATERIAL PROPERTY	TEST METHOD	Unit	Current	Current (Alternative)	GAP
			LEXAN ML 1655R	Star PCQP7022R	
Physical properties					
Specific Gravity	ASTM D792		1.21	1.2	Same
Water Absorption 24 Hrs	ASTM D792	%	0.15	No data	No data
Water Absorption Equilibrium, 23°C	ASTM D792	%	0.35	No data	No data
Density	ASTM D792	lb/in ³			No data
Mold Shrinkage, flow, 3.2 mm	ASTM D955	in/in	0.005-0.007	0.005-0.007	Same
Melt Flow Rate, 300°C/1.2 kgf	ASTM 1238	g/10 min	10	12	Δ 2
Melt Temperature		°F	563-600	No data	No data
Mechanical properties					
Tensile Strength @ Yield	ASTM D 638	Psi	8990	8500	Δ 490
Tensile Strength @ break	ASTM D 638	Psi	8000		No data
Flexural Stress @Yield	ASTM D 790	Psi	13200	13000	Δ 200
Flexural modulus	ASTM D 790	Psi	325000	345 000	Δ 20000
Izod Impact (UnNotched)	ASTM D 4812	ft-lb/in	No data	No data	No data
Izod Impact (Notched)	ASTM D 256	ft-lb/in	12	14	Δ 2
Flame characteristics					
Flammability	UL94		V-0 @ 1.11 mm	V-0 @ 1.5mm	
Thermal properties					
HDT @264 psi-unannealed	ASTM D648	° F	270	260	Δ 10

Figura 21. Resultados GAP análisis

4.2.3.2 CQP (Component Qualification Process)

Los requerimientos de validación de cada área funcional se muestran en la tabla 8.

Área funcional	Requisitos
Calidad	<ul style="list-style-type: none"> • Certificado de material. • Resultados dimensionales (1 pieza por cavidad).
Ingeniería (Sustaining)	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensionado completo (1 pieza por cavidad). • Estudios de capacidad en dimensiones críticas (32 piezas). • Pruebas de ensamble (3 piezas por cavidad). • Pruebas de confiabilidad: <ul style="list-style-type: none"> ○ Prueba de impacto. ○ Prueba de impacto (Temperatura baja). • Corrida controlada.

Ingeniería de Manufactura (Moldeo)	<ul style="list-style-type: none"> Corrida controlada (Moldeo):2600 partes.
Ingeniería de Manufactura (Ensamble final)	<ul style="list-style-type: none"> Corrida controlada (Ensamble final): 800 partes, Modelo C205.
Regulatoria	<ul style="list-style-type: none"> N/A <p>Debido a que el material ha sido validado para la misma aplicación y se encuentra enlistado en los archivos UL del producto, no es necesario trabajo adicional. La validación interna es suficiente.</p>

Tabla 8. Requisitos de validación por área funcional

4.2.3.3 Análisis dimensional

Se realizó un dimensionado completo en cuatro muestras (una por cavidad). El dibujo tiene 64 dimensiones, de las cuales, dos son dimensiones críticas y requerían un estudio de capacidad (Cpk=1.33).

3/64 dimensiones resultaron fuera de especificación (Ver Tabla 9). Mientras que las marcadas como críticas estuvieron dentro con un CPK> 6 y CPK>3 respectivamente.

Dim.	Tipo Tol.	Nominal	Min	Max	Cav 1	Cav 2	Cav 3	Cav 4	Pass Y/N	Equipo Usado
8-1	Diámetro	6	5.8	6.2	5.613	5.511	5.867	6.045	N	PIN GAGE
8-2	Diámetro	6	5.8	6.2	5.13	5.537	5.003	4.877	N	PIN GAGE
14	Distancia en X	30.16	30.01	30.31	29.75	29.79	29.83	29.83	N	CMM

Tabla 9. Dimensiones fuera de especificación

La desviación se presentó en las cuatro cavidades, por lo que se intuye que las partes moldeadas con la resina actual presentan la misma condición.

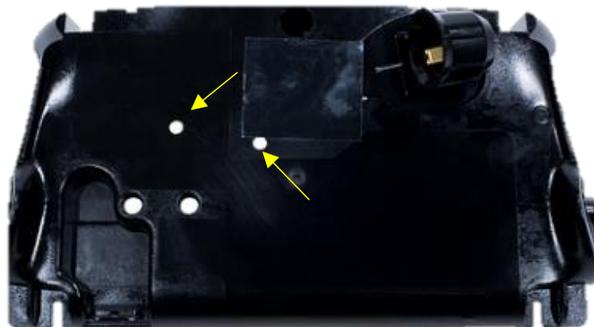


Figura 22. Características afectadas^[8]

Dado que no es una característica que afecte el ensamble o la función del componente, se decidió aceptarlas con esta condición (Ver Figura 22).

4.2.3.4 Pruebas de ingeniería

Una vez realizados los estudios dimensionales y con conocimiento de que las partes cumplen en dimensión, se procedió a armar 10 unidades del modelo C253 para las siguientes pruebas:

→ **Prueba de impacto:** Basado en UL Standard 746C "Polymeric Materials - Use in Electrical Equipment Evaluations".^[9]

El componente deberá soportar un impacto equivalente a 6.8 [J] en tres zonas diferentes de acuerdo con lo siguiente:

- No presentar una condición que pueda afectar el desempeño mecánico del componente.
- No presentar una condición que aumente la probabilidad de una descarga eléctrica.
- No permitir acceso a partes no asiladas.

El impacto se producirá dejando caer una esfera de acero de 50.8 [mm] de diámetro, con una masa de 0.535 [kg], desde la altura necesaria para producir el impacto especificado. Ver Figura 23.

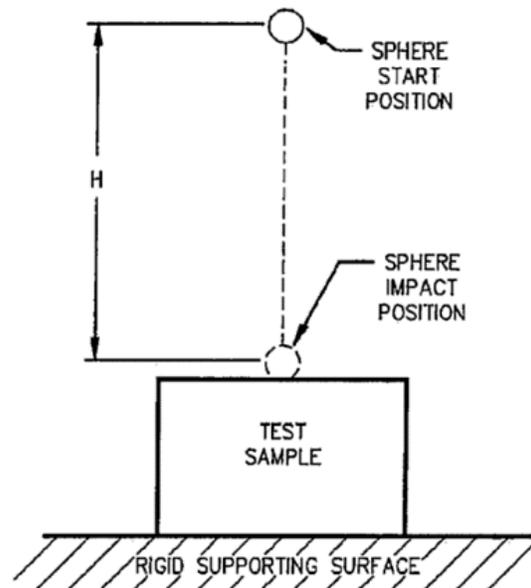


Figura 23. Prueba de impacto con esfera.^[9]

→ **Prueba de impacto (Baja**

temperatura): Mismo método que la prueba de impacto, con la excepción de que las muestras deberán ser condicionadas a una temperatura de $-35[^\circ\text{C}] \pm 2 [^\circ\text{C}]$ por 3 [Hrs]. La prueba deberá llevarse a cabo con las muestras aún frías.

Para ambas pruebas se utilizaron tres muestras en cada una.

Los resultados se muestran en la tabla 10.

Tipo de prueba	Prueba	Muestras	Sitio	Fecha de inicio	Fecha final	Duración	Progreso	Estatus	Resultado
Mecánica	<i>Low Temperature Impact Test</i>	3	Nogales	04/09/20	04/09/20	1 d	100%	Cerrado	Pass
Mecánica	<i>Impact Test (Physical Abuse Enclosure)</i>	3	Nogales	04/09/20	04/09/20	1 d	100%	Cerrado	Pass

Tabla 10. Resultados pruebas de ingeniería

4.2.3.5 Corrida controlada

Una vez completadas y pasadas las pruebas de ingeniería, se procedió a ejecutar la corrida controlada. Al ser unidades vendibles, se deben haber completado todos los requisitos de validación previos.

Se armaron 800 unidades; equivalentes a 45 lotes de producción, sin ningún problema de ensamble.

4.2.4 Conclusiones

Se completó el proceso de validación y se aprobó el uso del material alternativo por todas las áreas funcionales para evitar paros en línea de producción.

La resina alternativa (STAR PCQP7022R) presenta propiedades físicas similares, las variaciones no representaron un impacto en su manufactura o aplicación, esto se reflejó en los resultados dimensionales y las pruebas de impacto.

Dado que esta resina es utilizada bajo la misma aplicación, pero en diferente línea de productos, no fue necesario trabajo adicional por parte de regulatoria. Las pruebas de impacto realizadas de manera interna fueron suficientes y no fue necesario someterse a certificación de UL.

Por otro lado, el cambio fue transparente para el proceso de ensamble.

4.3 Manufacturing Line Support -Transmisores con baja amplitud-

4.3.1 Descripción del problema

Se reportaron problemas de calidad en los transmisores de 3 canales, estos presentaban la amplitud de señal por debajo de especificación. El porcentaje de falla reportado ascendía al 4[%], es decir, alrededor de 70-100 piezas dependiendo la cantidad por turno de producción.

Anteriormente, se tenían reportes de este problema con un porcentaje de hasta 2[%], lo cual era sostenible.

Se requirió soporte mecánico debido a que el problema incrementó con la introducción de un molde nuevo para la cubierta inferior. (Ver Figura 24).

La hipótesis inicial era que el tablero (PCB) se flexionaba durante el proceso de ensamble, causando daños en los componentes, lo cual producía dicha falla. El mecanismo de ensamble se describe a continuación (Ver Figura 25).

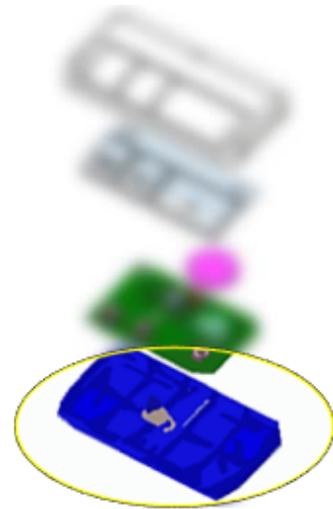


Figura 24. Vista explotada del ensamble
Imagen modificada por propiedad intelectual

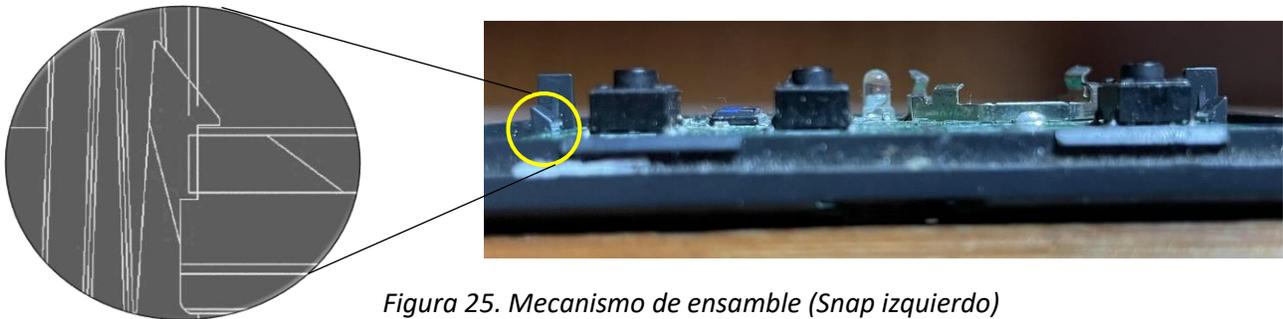


Figura 25. Mecanismo de ensamble (Snap izquierdo)

La cubierta inferior tiene dos *snap*s que aseguran el tablero una vez en su posición. El proceso de ensamble consiste en ubicar el tablero en el *snap* del lado izquierdo (Figura 26), guiándolo con el poste central, para posteriormente aplicar presión en el lado contrario y completar el ensamble.

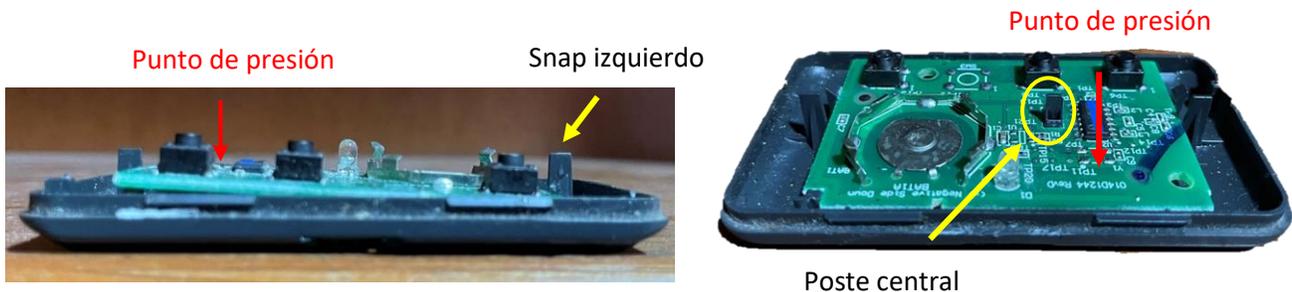


Figura 26. Proceso de ensamble

4.3.2 Metodología

El estudio de este problema fue iniciado por el departamento de calidad, y se involucró al departamento de *Sustaining* hasta reunir la evidencia necesaria que indicara que podría ser un problema relacionado con el diseño del producto.

La evidencia solicitada fue la siguiente:

- Análisis dimensionales.
- Revisión del proceso y/o equipo de ensamble.
- Revisión y calibración del equipo de pruebas.

La Figura 27 muestra una línea del tiempo con las actividades realizadas.

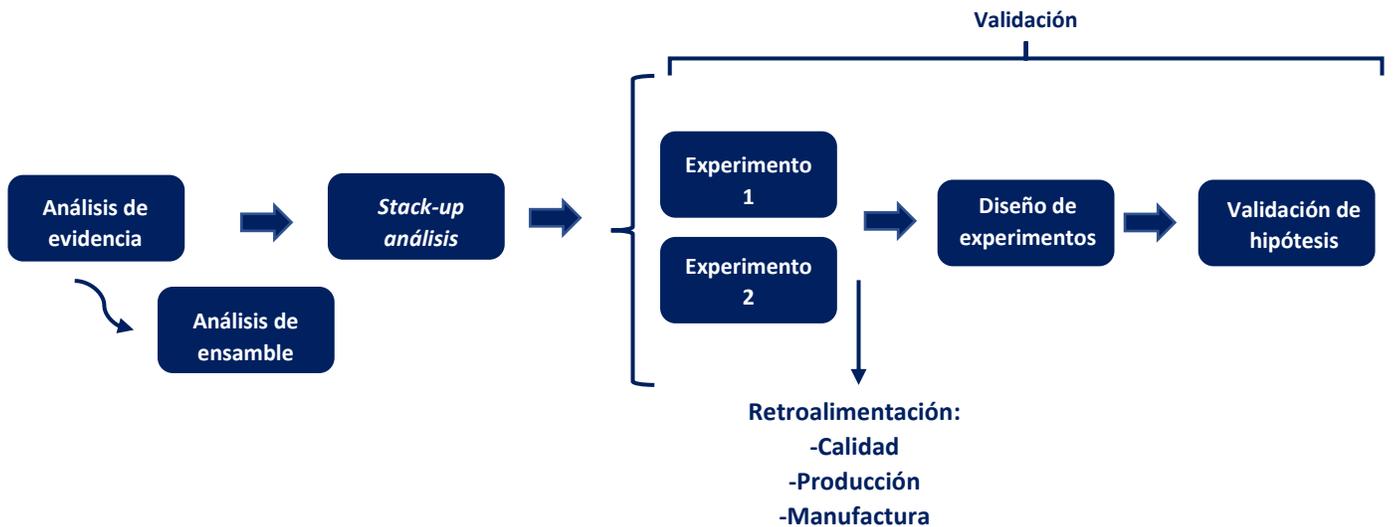


Figura 27. Proceso de actividades realizadas

a. Análisis de evidencia.

○ Análisis dimensionales:

Fueron medidas una pieza por cavidad de cada molde (viejo y nuevo). Ambos resultaron dentro de especificación. Se identificaron aquellas dimensiones que pudiera afectar el ensamble y se compararon entre ambos moldes.

○ Revisión de proceso y/o equipo de ensamble:

La información recibida fue que, dependiendo la línea, el proceso puede ser manual o mediante una prensa que ayuda a completar el ensamble, pero este no cambia en secuencia (Ver Figura 26). Se identificaron las siguientes tendencias:

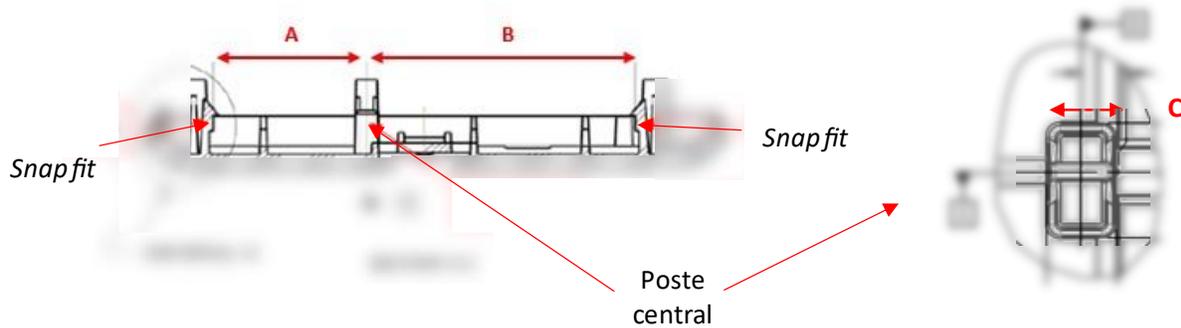
- El molde nuevo aumentó el porcentaje de falla, pero esta se presentó en su mayoría en la cavidad 7.

- Los tableros que presentaron mayor índice de falla son aquellos en la posición 6 y 7 del arreglo.
 - El proceso de ensamble (manual, prensa) también tenía un efecto, puesto que en las líneas que usaban prensa el índice de falla era menor.
 - Asimismo, los operadores indicaron que se requería mayor fuerza en el ensamble manual para completar el ensamble.
- **Revisión y calibración de equipo de pruebas:**
Se revisó el funcionamiento y calibración de los equipos encargados de realizar las pruebas de amplitud; se concluyó que estos no presentaban ninguna condición que pudiera influir en dicho problema.

b. Análisis de ensamble.

El mecanismo de ensamble se describe en la Figura 25.

Las características y dimensiones que influyen en dicho ensamble están señaladas en las figuras 28 y 29. Para la cubierta inferior son los *snap*s (Dim A & Dim B), el poste central (Dim C) y para el tablero es el hueco central (Dim E & Dim F).



*Figura 28. Dimensiones de interés (Cubierta inferior)
Imagen modificada por propiedad intelectual*

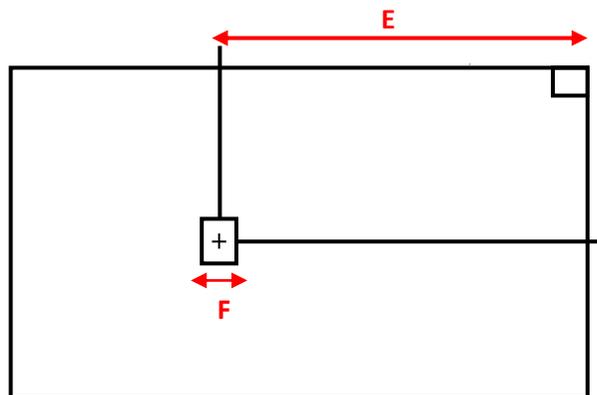


Figura 29. Dimensiones de interés (Tablero)

De las dimensiones mencionadas, y con información de los análisis dimensionales, se identificaron aquellas que presentaban una marcada variación entre moldes. La máxima variación fue de .005 [in] y se encontró en cav 1 y 7 para la dimensión C, y cav 4 y 7 para la dimensión A (Figura 28).

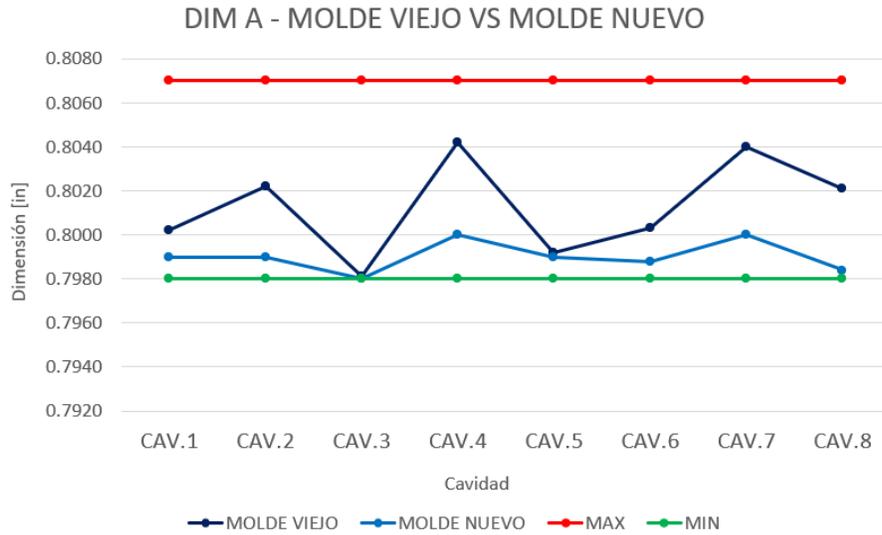


Figura 30. Dim A, Molde viejo vs Molde Nuevo

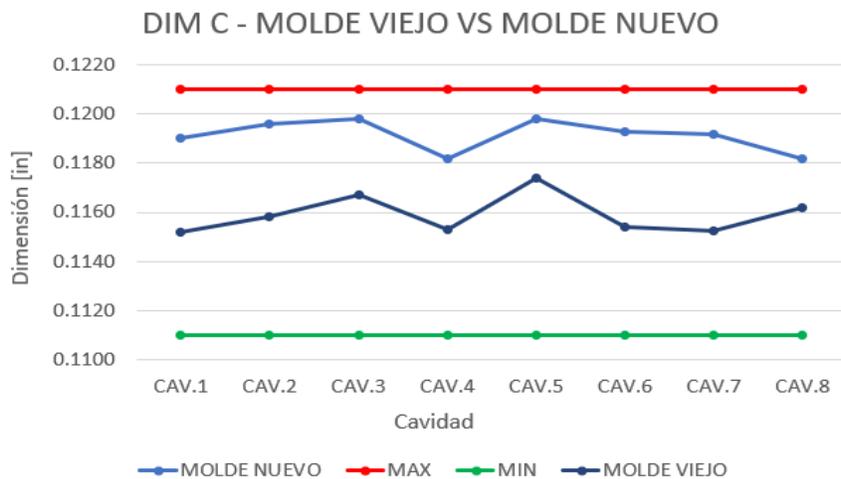


Figura 31. Dim C, Molde viejo vs Molde Nuevo

c) Stack-up análisis.

Se realizó un análisis de tolerancias para un escenario en específico, esto con la finalidad de calcular la interferencia en el ensamble y posteriormente cuantificar el impacto de la variación entre moldes.

d) Validación.

Con la información obtenida de los puntos anteriores; se realizaron varios experimentos con el fin de cuantificar el peso de cada variable, definir las medidas de corrección y validarlas. Los detalles de cada prueba y sus resultados se describen en la sección 4.3.3.

4.3.3 Resultados

4.3.3.1 Stack-up análisis.

Objetivo: Cuantificar la interferencia presentada en el ensamble por la variación en el valor de las dimensiones A y C (Ver Figura 28), basado en las mediciones reportadas, tomando como caso de estudio el caso crítico, es decir, la mayor variación (0.005[in], Cav 7) entre molde viejo y nuevo.

Debido a que en el momento no se tenían mediciones del tablero, estas dimensiones se mantienen nominales.

Se analizó el *snap* izquierdo bajo 2 escenarios: molde viejo y molde nuevo.

La descripción del lazo es la misma para ambos casos y se idealizó el caso pre-ensamble, es decir, donde se aprovecha la holgura entre poste central y hueco del tablero para minimizar la interferencia y disminuir la fuerza ($C=0$, Figura 32).

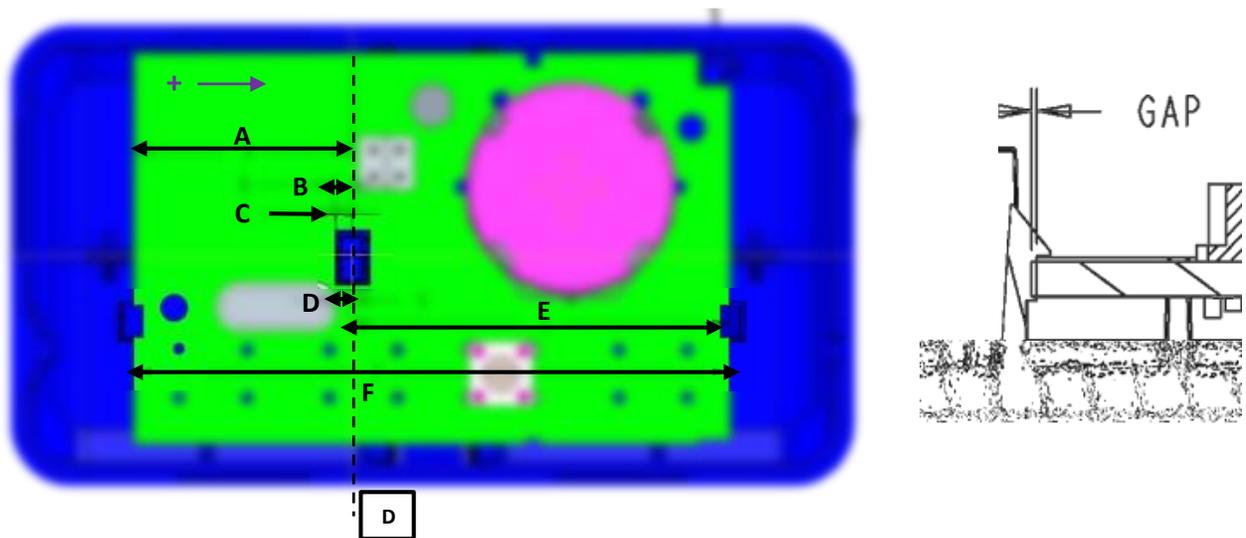


Figura 32. Descripción de lazo
Imagen modificada por propiedad intelectual.

a) Escenario 1 (Molde viejo)

	Description	Dim
A	Snap to Datum D	0.804
B	Datum D to Center Rib (Edge)	-0.058
C	Position GAP (Min)	0
D	PCB Clearance (Edge) to PCB Clearance (center)	0.067
E	PCB Clearance to PCB Edge	1.425
F	PCB width	-2.24
	SUM	-0.002
	MIN GAP	
	NOMINAL GAP	-0.002
	MAX GAP	

Tabla 11. Resultados Escenario 1, Molde viejo

b) Escenario 2 (Molde nuevo)

	Description	Dim
A	Snap to Datum D	0.800
B	Datum D to Center Rib (Edge)	-0.060
C	Position GAP (Min)	0
D	PCB Clearance (Edge) to PCB Clearance (center)	0.067
E	PCB Clearance to PCB Edge	1.425
F	PCB width	-2.24
	SUM	-0.008
	MIN GAP	
	NOMINAL GAP	-0.008
	MAX GAP	

Tabla 12. Resultados Escenario 2, Molde nuevo

Los resultados mostraron un incremento de .006 [in] en la interferencia, calculada con la condición actual del material para ambos casos, considerando únicamente la contribución del plástico en el ensamble.

4.3.3.2 Experimento 1

Objetivo: Verificar la hipótesis inicial al reducir la fuerza necesaria para completar el ensamble. Esto mediante manipular las dimensiones en el plástico para reducir la interferencia.

El criterio de falla es que la parte cumpla con la especificación en la prueba de amplitud.

Se inició con una verificación burda, es decir, se permitió al tablero moverse libremente sin ninguna restricción mediante la eliminación del poste central. (Ver Figura 33)

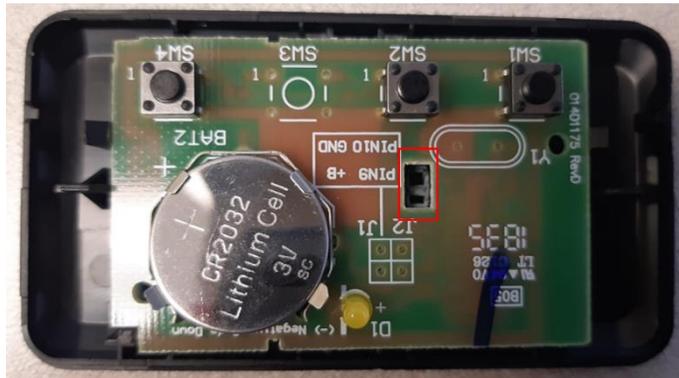


Figura 33. Ensamble con material retrabajado
(Experimento 1)

Se retrabajaron 200 piezas de la cubierta inferior del molde nuevo (Cav 7) y se ingresaron al proceso habitual de ensamble y prueba.

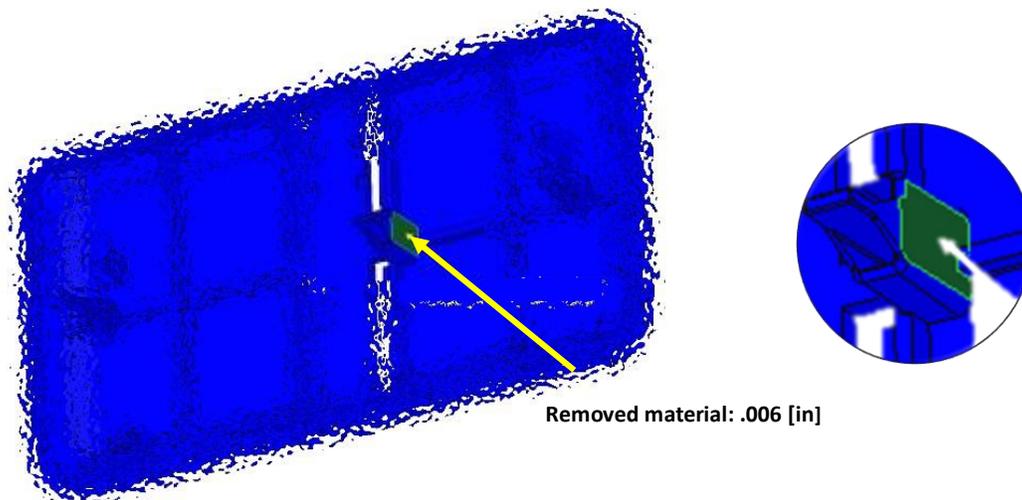
0/200 fallaron. Se obtuvo un porcentaje de falla del 0 [%]

4.3.3.3 Experimento 2

Objetivo: Verificar el impacto del incremento en la interferencia presentada en el ensamble, por la condición del material (cubierta inferior), en el resultado de la prueba de amplitud.

El criterio de falla se mantiene como en el experimento anterior.

El retrabajo consistió en remover material del poste central .006 [in] (Ver Figura 34) con la intención de compensar la variación presentada por la condición del material, basado en el resultado del *Stack-up* análisis (Ver Sección 4.3.3.1).



*Figura 34. Descripción del retrabajo (Experimento 2)
Imagen modificada por propiedad intelectual*

Se retrabajaron 200 piezas de la cubierta inferior del molde nuevo (Cav 7) y se ingresaron al proceso habitual de ensamble y prueba.

5/200 fallaron. Se obtuvo un porcentaje de falla del 2.5 [%].

4.3.3.4 Diseño de experimentos (DOE)

A pesar de que se mostró una disminución en el porcentaje de falla, similar al que se tenía previo a introducir el molde nuevo, se notificó que los porcentajes altos de falla ya no eran exclusivos de las piezas del molde nuevo y se presentaban indistintamente en el proceso habitual.

Objetivo: Identificar la variable de mayor peso (Poste Central -Dim C-, Tablero -Dim F-, Método de ensamble) al presentarse la falla (Resultado por debajo de especificación) en la prueba de amplitud después de realizar el ensamble.

El DOE se describe a continuación:

Tres factores: Poste Central -Dim C-, Tablero -Dim F-, Método de ensamble.

Dos niveles por factor:

- Poste Central -Dim C-: 0.114 [in] (Retrabajado), 0.119 [in] (No retrabajado)
- Tablero -Dim F-: 0.133 [in] (No retrabajado), 0.138 [in] (No retrabajado)
- Método de ensamble: Manual, Prensa

Se realizaron 4 ensayos por combinación.

Con intención de incentivar la falla se mantuvieron fijas las condiciones enunciadas a continuación:

- ✓ Utilizar únicamente material de la cavidad 7 para el molde nuevo.
- ✓ Utilizar únicamente tableros de la posición 6 y 7 del arreglo.
- ✓ Mantener constantes otras variables en el proceso (Línea de ensamble, personal, etc).

El retrabajo de las piezas se describe a continuación:

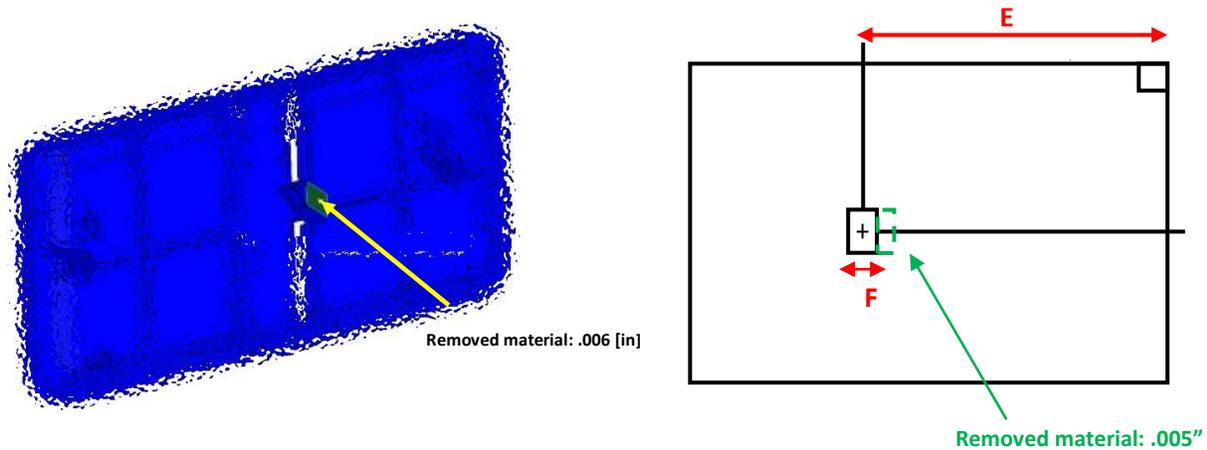


Figura 35. Descripción del retrabajo (Dim C, Dim F)
 Imagen modificada por propiedad intelectual.

Los resultados se muestran en la tabla 13.

Ensayo	Poste Central -Dim C-	Tablero -Dim F-	Método de ensamble	Amplitud	Pass/Fail
1	0.114	0.133	Prensa	(-36dBm)	Fail
2	0.114	0.133	Manual	>-25dBm	Pass
3	0.119	0.133	Manual	>-25dBm	Pass
4	0.114	0.138	Manual	>-25dBm	Pass
5	0.119	0.133	Manual	>-25dBm	Pass
6	0.114	0.138	Prensa	>-25dBm	Pass
7	0.119	0.138	Manual	>-25dBm	Pass
8	0.119	0.133	Prensa	>-25dBm	Pass
9	0.114	0.138	Manual	>-25dBm	Pass
10	0.114	0.133	Prensa	>-25dBm	Pass

11	0.114	0.138	Prensa	>-25dBm	Pass
12	0.119	0.138	Prensa	>-25dBm	Pass
13	0.114	0.133	Prensa	>-25dBm	Pass
14	0.119	0.138	Prensa	>-25dBm	Pass
15	0.114	0.133	Manual	(-38dBm)	Fail
16	0.119	0.138	Manual	>-25dBm	Pass
17	0.119	0.133	Prensa	>-25dBm	Pass
18	0.114	0.133	Manual	>-25dBm	Pass
19	0.114	0.138	Prensa	>-25dBm	Pass
20	0.119	0.133	Manual	>-25dBm	Pass
21	0.119	0.138	Manual	>-25dBm	Pass
22	0.114	0.133	Manual	>-25dBm	Pass
23	0.119	0.138	Prensa	>-25dBm	Pass
24	0.119	0.138	Prensa	>-25dBm	Pass
25	0.114	0.138	Manual	>-25dBm	Pass
26	0.119	0.133	Manual	>-25dBm	Pass
27	0.119	0.138	Manual	>-25dBm	Pass
28	0.114	0.138	Prensa	>-25dBm	Pass
29	0.119	0.133	Prensa	>-25dBm	Pass
30	0.119	0.133	Prensa	>-25dBm	Pass
31	0.114	0.138	Manual	>-25dBm	Pass
32	0.114	0.133	Prensa	>-25dBm	Pass

Tabla 13. Resultados DOE

Se encontró que las fallas se presentaron con la condición del tablero -No retrabajado- y de la cubierta inferior -Retrajado-. Además, el proceso de ensamble cambio en ambos casos.

4.3.3.5 Experimento 3

Objetivo: Verificar el impacto de la disminución en la interferencia presentada en el ensamble, en el resultado de la prueba de amplitud, al aumentar el ancho del hueco central en el tablero .010 [in] (Dim F).

El retrabajo fue similar al descrito para el DOE (Ver Figura 35) con la diferencia en dimensiones. Se utilizó material del molde nuevo y únicamente de la cavidad 7 para el ensamble.

Se retrabajaron 160 piezas. 0/160 fallaron. Se obtuvo un porcentaje de falla del 0 [%].

4.3.4 Conclusiones

Se comenzó el análisis con la evidencia reunida por las diferentes áreas funcionales con la intención de identificar tendencias y las variables asociadas al incremento en la falla. El análisis del ensamble arrojó aquellas dimensiones que, desde el punto de vista mecánico, pudieran estar causando dicho problema.

Inicialmente, al incrementarse la falla con la introducción del molde nuevo, la atención se centró en dichas piezas, y con el análisis de tolerancias (Sección 4.3.3.1) se cuantificó el incremento en la interferencia presentada; causado por la diferencia en la condición de material entre moldes. Este dato sirvió posteriormente para describir los retrabajos.

El experimento 1 verificó la hipótesis inicial, al disminuir la interferencia se elimina la falla, mas no era posible implementarlo debido a que el poste central cumple la función de guiar al tablero y así alinearlos con los actuadores.

El experimento 2 simuló la condición de material del molde viejo y el porcentaje de falla es acorde a ello (2.5 [%]), lo cual direccionaba la potencial solución a disminuir el ancho del poste central. Sin embargo, con la información recibida sobre la aparición de la falla de manera indistinta, fue necesario reevaluarlo.

Los resultados del DOE arrojan que la falla es presentada con el tablero en condición -No retrabajado-, y que esta no puede ser eliminada incluso con el plástico retrabajado, teniendo el tablero un impacto más grande en la falla, siendo indistinto el método de ensamble.

El experimento 3 verificó esta hipótesis al eliminar la falla por completo.

Se realizaron mediciones del hueco central -Dim F- de los 160 tableros para definir la nueva especificación. (Ver Tabla 14)

DIM F	
MAX	0.148 [in]
MIN	0.142 [in]
MEAN	0.145 [in]
STD	0.001 [in]

Tabla 14. Resultados condensados -Dim F-
(Experimento 3)

Basado en los resultados, la recomendación fue modificar el hueco central -Dim F- basado en la condición de material del experimento 3, es decir: 0.145+/- .003 [in].

5. Conclusiones

Se presentó el desarrollo de tres proyectos que necesitaron habilidades técnicas y uso de herramientas de ingeniería para su solución; así como el trabajo multidisciplinario entre equipos y la capacidad de comunicar la necesidades y decisiones de manera eficiente en tiempo y forma. Estas últimas podían llegar a ser las más complicadas, debido a la necesidad de entender de forma clara el problema, preguntar dudas específicas al punto de contacto adecuado; además de transmitir la urgencia y coordinar las actividades necesarias con las diferentes áreas funcionales.

Adicional a esto, me gustaría recalcar que el trabajo día a día exigía una constante capacitación y aprendizaje de manera autodidacta, ya que como ingeniero de *sustaining*, tienes la responsabilidad de dar una primera evaluación a problemas de diferente índole o en diferentes tipos de productos, lo que requería entender el intento de diseño, la aplicación, o la naturaleza del fenómeno en un periodo corto de tiempo, para posteriormente realizar el análisis correspondiente.

Para estos retos, la facultad me dio los fundamentos necesarios en diferentes materias y laboratorios para comprender, estudiar y expandir el conocimiento en temas técnicos; al igual que la habilidad de utilizar diferentes herramientas computacionales. En mi experiencia personal, el haber pertenecido a una sociedad estudiantil me ayudó a desarrollar y potenciar tanto mis habilidades interpersonales (comunicación, negociación, liderazgo) en escenarios reales, como la capacidad y el uso de herramientas para la resolución de problemas cuando los recursos son limitados.

Finalmente, considero que hay temas y herramientas que, como diseñador mecánico, deberían incluirse en alguno de los temarios de materias optativas, puesto que, en mi experiencia, son básicos en el perfil; tales como: dimensionado y tolerancias geométricas, análisis de tolerancias, diseño para manufactura (DFM), estudios de capacidad, entre otros. Estos muy utilizados en el desarrollo del presente reporte.

6. Bibliografía

- 1) Chamberlain Group. (2017). Manual: 3-Button remote controls
<https://www.chamberlain.com/3-button-visor-garage-door-remote/p/G953EV-P2MC>
- 2) Federal Communications Commission. (2011). ID: HBW7359, Exhibit: External Photos
https://apps.fcc.gov/oetcf/eas/reports/ViewExhibitReport.cfm?mode=Sum&calledFromFrame=N&RequestTimeout=500&application_id=IhLQ%2BENf2yndHt%2BdsQSEGw%3D%3D&fcc_id=HBW7359
- 3) Qin, W. (2020). Waste-Printed Circuit Board Recycling: Focusing on Preparing Polymer Composites and Geopolymers [version electronica]. ACS Omega, 17850–17856
- 4) Chamberlain Group. (2017). Manual: 8165W
<http://www.liftmaster.com/us/es/one-half-hp-garage-door-opener/p/8165WMC>
- 5) Ford Motor Company. (2011). FMEA Handbook (Version 4.2). Dearborn, Michigan.
- 6) HCL Technologies. (2020). Definitive Guide to Design for Manufacturing Success.
- 7) Ghita, J. (2019). Introduction to Polymer Engineering.
- 8) Chamberlain Group. (2017). Repuesto: Panel de extremo.
<https://www.liftmaster.com/us/es/end-panel/p/041A8393>
- 9) Underwriters Laboratories. (1995), UL 746C: Polymeric Materials Use in Electrical Equipment Evaluations.
- 10) UL Prospector. (2000). LEXAN™ FR Resin ML1655R
<https://www.ulprospector.com/plastics/es/datasheet/43142/lexan-fr-resin-ml1655r---americas#processing-section>
- 11) Star Plastics. (2017). DS - StarPrime PCQP7022R,UV,RUV - 5VA
<https://www.starplastics.com/wp-content/uploads/2018/02/DS-StarPrime-PCQP7022RUVRUV-5VA.pdf>
- 12) Engineering zone. (2020). Diseño de Experimentos en Minitab. Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=z3Mh1sgWtnI>
- 13) LEARN & APPLY: Lean and Six Sigma. (2019). Process Capability Study in Minitab (Normal Capability). Youtube.
<https://www.youtube.com/watch?v=F03rZ1CC6fg&list=LL&index=23>