



11/18/2020

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura

Presente:

Por medio de la presente, se hace constar que el C. **Roman Eduardo Soto Lopez**, alumno de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez del programa de la Maestría en Ingeniería en Manufactura y matrícula **187082**, realizó su Proyecto de Titulación denominado **Investigación e implementación de un cable de batería que cumpla con las especificaciones del USCAR 21 Revisión 3**, en el departamento **050**. de la empresa **Aptiv**, en el periodo de **Agosto – Diciembre 2020**. En el proyecto fue asesorado por el **Dr. Javier Molina Salazar** docente del Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Por parte de la empresa se asignó como asesor a **Dr. Rodrigo Villanueva Ponce**.

Como resultado del proyecto se notifica que fue satisfactorio para **Aptiv**. Así mismo, **Aptiv** no tiene ningún inconveniente en extender la presente constancia para que dicho proyecto se utilice para los fines mencionados y conceden las facilidades para el uso de éste ante la UACJ, con el fin de que el interesado alcance su objetivo

Atentamente

Nombre de la empresa y sello

Alejandra Magallanes

Administrador Ejecutivo de Recursos Humanos

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y MANUFACTURA



• **A P T I V** •

INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA DE MAESTRÍA EN MANUFACTURA:
**Investigación e implementación de un cable de batería que cumpla con las
especificaciones del USCAR 21 Revisión 3**

QUE PRESENTA:

Ing. Román Eduardo Soto López

INVESTIGADOR RESPONSABLE:

Dr. Rodrigo Villanueva Ponce / Dr. Javier Molina Salazar

TIPO DE INVESTIGACIÓN: **APLICADA**

Vo. Bo.

ASESOR

COORDINADOR

Dedicatorias y agradecimientos

Agradezco especialmente al Dr. Rodrigo Villanueva Ponce por hacer posible este proyecto debido a los conocimientos compartidos durante cada uno de los procedimientos por los cuales fue necesario pasar a medida que las pruebas concluían.

A mis compañeros de la maestría, les agradezco eternamente por ayudarme a establecer estándares altos en mis metas, y porque cada uno de ustedes me ha ayudado a ser mejor en algún punto de mi carrera tanto profesional como universitaria.

Por último, agradezco al Dr. Javier Molina, al Dr. Lorenzo Rico y a la Dra. Vianey Torres por su apoyo y contribuciones para el desarrollo de este proyecto, y proveerme de la ayuda y conocimientos necesarios para desarrollar el proyecto de manera profesional.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Planteamiento del Problema.....	3
1.3	Objetivos.....	4
1.3.1	Objetivo General	4
1.3.2	Objetivos específicos	4
1.4	Hipótesis.....	4
1.4.1	Hipótesis General.....	4
1.4.2	Hipótesis Específicas	5
1.5	Preguntas de Investigación.....	5
1.6	Justificación	5
1.7	Alcance y Delimitación.....	6
1.8	Cronograma de actividades.....	6
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1	Propiedades del material	7
2.2	Geometría de la terminal	7
2.3	FEA (Final Element Analysis)	8
2.4	Parámetros de prensado	9
2.5	Parámetros Mecánicos	9
2.6	Parámetros Eléctricos.....	11
3	METODOLOGÍA	11
3.1	Metodología de validación para USCAR 21.....	11
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
4.1	Análisis de la geometría por FEA	13
4.1.1	FEA para la terminal tipo A	13
4.1.2	FEA para la terminal tipo B	16
4.2	Desempeño mecánico	19
4.2.1	Inspección visual en corte transversal.....	19
4.2.2	Resultados del corte transversal en la terminal tipo A.....	19
4.2.3	Resultados del corte transversal en la terminal tipo B.....	21
4.2.4	Prueba de retención para la terminal tipo A	23
4.2.5	Prueba de retención para la terminal tipo B	24
4.3	Desempeño Eléctrico.....	27

4.3.1	Caída de voltaje para la terminal tipo A.....	27
4.3.2	Caída de voltaje para la terminal tipo B.....	28
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
6	REFERENCIAS.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1	Geometrías generadas para el análisis antes y después del prensado para la terminal tipo A. [11]	8
Ilustración 2	Geometrías generadas para el análisis antes y después del prensado Para la terminal tipo B. [10].....	8
Ilustración 3	Criterios con atributos aceptables.[5].....	9
Ilustración 4	Criterios con atributos ideales pero no aceptables.[5]	9
Ilustración 5	Criterios con atributos no aceptables.[5].....	10
Ilustración 6	Distancia para la toma de valores con multímetro.[5]	12
Ilustración 7	Resultados de referencia de la deformación total para la terminal tipo A.[14], [15]	13
Ilustración 8	Vista frontal de la deformación total en la terminal tipo A.	13
Ilustración 9	Vista Isométrica de la deformación total en la terminal tipo A.	13
Ilustración 10	Vista inferior de la deformación total en la terminal tipo A.	14
Ilustración 11	Resultados de referencia de la tensión elástica equivalente para la terminal tipo A.....	14
Ilustración 12	Vista frontal de la tensión elástica equivalente en la terminal tipo A.	14
Ilustración 13	Vista isométrica de la tensión elástica equivalente en la terminal tipo A.	14
Ilustración 14	Vista inferior de la tensión elástica equivalente en la terminal tipo A.	15
Ilustración 15	Resultados de referencia del esfuerzo para la terminal tipo A.....	15
Ilustración 16	Vista frontal del esfuerzo en la terminal tipo A.....	15
Ilustración 17	Vista isométrica del esfuerzo en la terminal tipo A.	15
Ilustración 18	Vista inferior del esfuerzo en la terminal tipo A.....	16
Ilustración 19	Resultados de referencia de la deformación total para la terminal tipo B.	16
Ilustración 20	Vista frontal de la deformación total en la terminal tipo B.	16
Ilustración 21	Vista Isométrica de la deformación total en la terminal tipo B.	16
Ilustración 22	Vista inferior de la deformación total en la terminal tipo A.	17
Ilustración 23	Resultados de referencia de la tensión elástica equivalente para la terminal tipo B.	17
Ilustración 24	Vista frontal de la tensión elástica equivalente en la terminal tipo B.	17
Ilustración 25	Vista isométrica de la tensión elástica equivalente en la terminal tipo B.	17
Ilustración 26	Vista inferior de la tensión elástica equivalente en la terminal tipo B.	18
Ilustración 27	Resultados de referencia del esfuerzo para la terminal tipo B.....	18
Ilustración 28	Vista frontal del esfuerzo en la terminal tipo B.....	18
Ilustración 29	Vista isométrica del esfuerzo en la terminal tipo B.	18
Ilustración 30	Vista inferior del esfuerzo en la terminal tipo B.....	19

Ilustración 31 Comparación entre la geometría simulada y la geometría física de la terminal tipo A.....	30
Ilustración 32 Comparación entre la geometría simulada y la geometría física de la terminal tipo B.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cronograma de actividades.....	6
Tabla 2 Propiedades físicas de la aleación CuZn36 [8].....	7
Tabla 3 Propiedades mecánicas de la aleación CuZn36 [8].....	7
Tabla 4 Criterios de aceptación para fuerza de retención.[5], [7].....	10
Tabla 5 Criterio de aceptación para cables.[5].....	11
Tabla 6 Corriente a aplicar según el calibre del cable.[5].....	12
Tabla 7 Deformación total para la terminal tipo A.....	14
Tabla 8 Tensión elástica equivalente para la terminal tipo A.....	15
Tabla 9 Esfuerzo para la terminal tipo A.....	16
Tabla 10 Deformación total para la terminal tipo B.....	17
Tabla 11 Tensión elástica equivalente para la terminal tipo B.....	18
Tabla 12 Esfuerzo en la terminal tipo B.....	19
Tabla 13 Inspección visual en corte transversal para la terminal tipo A.....	21
Tabla 14 Inspección visual en corte transversal para la terminal tipo B.....	23
Tabla 15 Fuerza de retención para la terminal tipo A.....	24
Tabla 16 Fuerza de retención para la terminal tipo B.....	27
Tabla 17 Caída de voltaje inicial para la terminal tipo A.....	27
Tabla 18 Caída de voltaje final para la terminal tipo A.....	27
Tabla 19 Cambio de resistencia para la terminal tipo A.....	28
Tabla 20 Caída de voltaje inicial para la terminal tipo B.....	29
Tabla 21 Caída de voltaje final para la terminal tipo B.....	29
Tabla 22 Cambio de resistencia para la terminal tipo B.....	30
Tabla 23 Terminales bajo el cumplimiento de USCAR 21 Rev 3.....	31

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el desarrollo automotriz ha evolucionado de diversas maneras, las cuales siempre están buscando de manera continua proteger tanto al usuario como al vehículo en sí, esto lo conseguimos mediante el desarrollo continuo de las centrales eléctricas, mejor conocidas como cajas de fusibles las cuales nos permiten ofrecer un medio de protección gracias a la función de apertura de los dispositivos utilizados, una vez que esta función se activa nos muestra un aviso en el tablero del vehículo avisando al usuario y al mismo tiempo protege al arnés de recibir daños considerables los cuales significarían un remplazo completo del arnés dañado, teniendo que retirar gran parte de la carrocería para poder retirarlo de manera adecuada.

1.1 Antecedentes

La manufactura, a grandes rasgos la podemos describir como el proceso de convertir materias primas en productos que ofrecen un beneficio económico o valor agregado al ser puesto en el mercado, una de las principales demandas y tendencias que se llevan a cabo en las actividades de manufactura es que un producto debe satisfacer totalmente los requisitos de diseño, especificaciones y normativas legales.[1]

Una de las principales actividades de Ciudad Juarez, Chihuahua, es la industria automotriz cuya historia nos hace obligatoria la mención a la empresa Delphi: “El objetivo de este trabajo es el de explicar el nacimiento de un moderno, inédito centro de investigación y desarrollo de autopartes electrónicas. Esta maquiladora, creada en 1995 por Delphi Automotive Systems, empleaba en 1999 a 1600 ingenieros, técnicos y personal de soporte.”[2]

Para este trabajo nos enfocaremos específicamente en una central eléctrica o caja de fusibles, por decirlo de alguna manera resumida una central eléctrica es el cerebro de un automóvil ya que controla todas las funciones que requieren una activación eléctrica, la función principal de una caja de fusibles es encargarse de proteger las

conexiones que se distribuyen por todo el vehículo mediante el ruteo de los arneses y el uso de conectores para las entradas y salidas.

Los principales componentes de una central eléctrica son el PCB (Printed Circuit Board) cuya función es conectar mediante circuitos las entradas y salidas de los conectores y hacer un puente de conexión con los fusibles y relevadores, relevadores y fusibles que nos ayudan a controlar las activaciones de cada función y las cargas que llegan a la central eléctrica, cubierta superior y cubierta inferior las cuales protegen los componentes principales.

La función de protección en centrales eléctricas se realiza mediante la implementación de dos componentes principales que la conforman: los fusibles y relevadores, los cuales están expuestos a las corrientes eléctricas actuando como puentes entre el arnés y la activación de cada función, un ejemplo muy claro es el uso de las luces intermitentes o direccionales.

Esta actividad se vuelve prioritaria debido al fácil acceso y remplazo de un fusible/relevador dañado en la caja de fusibles, lo cual genera una reducción de costos considerable en comparación la dificultad que genera el remover y cambiar un solo cable del arnés el cual puede llegar a rodear todo el vehículo en cuestión.

El cable de batería es el encargado de proveer corriente desde la batería hacia la caja de fusibles, esto nos ayuda a que la corriente inicial provenga de una fuente de corriente directa evitando el uso del alternador como fuente de energía ayudando a evitar picos de corriente durante el manejo del vehículo.

Comúnmente los cables de batería son manufacturados con aleaciones de cobre debido a su excelente conductividad y estabilidad térmica con las altas corrientes, pero se conocen aleaciones de aluminio que se comportan de manera similar pero que debido a su alto costo de producción no se acostumbra usarlas de manera generosa en la industria automotriz.

Una terminal de batería tiene la función de realizar la conexión entre dos componentes en los que una corriente eléctrica puede fluir, puede ser un estampado, un fusible, un conector o incluso directamente el poste de una batería.

Para las terminales no existe una aleación que sea de uso general en la industria automotriz ya que esta decisión varía según la función, aplicación y ubicación de la terminal en el vehículo.

La SAE (Society of Automobile Engineers) es la asociación líder de ingenieros automotrices teniendo sus primeros inicios en 1900 debido a la necesidad de las compañías de manufactura y partes automotrices de tener un grupo para el “intercambio libre de ideas” y expandir el conocimiento técnico individual base. Por lo que en fechas actuales se puede resumir que está encargada de conectar y educar a los profesionistas para que sean capaces de crear soluciones seguras, limpias y accesibles.[3]

Formada por más de 1280,000 ingenieros y técnicos expertos en la industria aeroespacial;, automotriz y de vehículos comerciales a nivel global. Con el fin de obtener un aprendizaje de larga duración y desarrollar entandares mediante consensos voluntarios a nivel global como lo son México, Ecuador, Canadá, Romania, China, entre otros.[4]

1.2 Planteamiento del Problema

Debido a los últimos requerimientos de seguridad en la industria automotriz las más actuales especificaciones y estándares de seguridad se actualizaron para su debido cumplimiento con la norma USCAR 21 Revisión 3, en la cual se regula la fuerza de retención, vista del corte transversal y resistencia eléctrica que debe cumplir un cable de batería según su uso en la industria automotriz y las características de aplicación en el vehículo [5], lo cual representa un reto para la industria automotriz al seleccionar cables de batería que sean capaces de mantener los requerimientos de la SAE de manera continua debido a que los primeros dos requerimientos son muy fáciles de cumplir con los materiales actuales, pero el que presenta la mayor inversión es el requerimiento de resistencia eléctrica debido a que es una combinación de dimensiones en el prensado del cable, material de la terminal a evaluar y fuerza aplicada al prensado, por esta razón se evaluarán diferentes terminales para

encontrar a la más idónea para el cumplimiento de los nuevos requerimientos establecidos.

1.3 Objetivos

Durante esta investigación se pretende validar un cable de batería, el cual consta de dos terminales (una terminal por lado) para utilizarlo en la caja de fusibles de la empresa Aptiv para cumplir con los nuevos requerimientos de cliente obtenidos durante el 2019 en el cual se menciona que cada terminal debe tener una baja resistencia eléctrica según la especificación de USCAR 21 Revisión 3.

Esto nos ayudara a evitar futuros gastos económicos y en cuestión de tiempo, debido a quejas de cliente y reclamación de garantías por BEC's (Box Electrical Center) mal funcionales o sospechosos de generar un fallo en el vehículo, siempre anteponiendo la seguridad del usuario como prioridad principal.

1.3.1 Objetivo General

Obtener los valores de validación necesarios para que un cable de batería sea capaz de cumplir con los requerimientos en valores aceptables para la especificación de USCAR 21 Revisión 3.

1.3.2 Objetivos específicos

Obtener un cable de batería que tenga una resistencia inicial menor o igual a 0.06Ω y un cambio de resistencia menor o igual a 0.04Ω . [5] Para cada una de las terminales que lo conforman, logrando un cumplimiento del USCAR 21.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

La necesidad de alcanzar a la industria automotriz nos lleva a tener un mejor desempeño en cuanto a las cajas de fusibles se refiere, por lo tanto necesitamos ofrecerle una mejor resistencia eléctrica a los clientes.

Los valores de resistencia eléctrica son capaces de variar a medida que se modifiquen los parámetros clave en el prensado de la terminal, por lo cual será necesario probar diferentes configuraciones para obtener el mejor resultado posible.

1.4.2 Hipótesis Específicas

Mediante el análisis de modelos 3D, propiedades de los materiales y instrumentos de medición para la resistencia eléctrica, se evaluarán las diferentes configuraciones posibles a realizar a una terminal, las cuales son:

- Geometría
- Altura de prensado del conductor (CCH - Conductor Crimp Height)
- Ancho de prensado del conductor (CCW - Conductor Crimp Width)

Estos son los factores que se utilizarán como variantes modificables para obtener diferentes resultados de resistencia eléctrica.

1.5 Preguntas de Investigación

Porque es importante tener una baja resistencia eléctrica en los cables de batería?

R- La baja resistencia eléctrica nos ayuda a tener un mejor desempeño del vehículo y optimizar las propiedades del cable de batería.

Existe algún problema actual que esté relacionado con la alta resistencia eléctrica?

R- En estos momentos se quiere evitar que los automóviles presenten daño debido a sobrecargas eléctricas.

Cuál es la última versión de las especificación del USCAR 21?

R- La última versión tiene fecha de Enero 2020.[6]

Cuál es el cambio?

R- Solo cambia la manera en la que distribuye la información.

1.6 Justificación

Más allá de ser un nuevo requerimiento por parte de uno de los clientes de Aptiv, este proyecto tiene como fin dejar una investigación documentada de los

diferentes resultados y configuraciones que se pueden utilizar para cumplir con esta nueva especificación del cliente.

En un enfoque hacia la industria automotriz los requerimientos para poder cumplir con las especificaciones de la SAE se actualizaron en mayo del 2002, con la última fecha de revisión requerida por nuestro cliente en APTIV es la de noviembre 2014 para la revisión 3 de la especificación USCAR 21 [7].

Durante el 2016 al 2018 los incrementos por parte de clientes automotrices (GM, Volvo, Ford, etc..) para cumplir con las especificaciones de manera coordinada, aumento considerablemente por lo que se necesita estar a un nivel donde la compañía pueda estar a la vanguardia y ser competente.

1.7 Alcance y Delimitación

El alcance esperado para este trabajo de investigación y desarrollo se enfoca en obtener un producto terminado el cual consiste en un cable de batería capaz de ser utilizado en múltiples plataformas de vehículos sin la necesidad de que el mismo tenga que volver a pasar por el proceso de validación, lo cual implica que tendremos un ahorro considerable en cuanto a la inversión económica, de tiempo y hora-persona en los laboratorios especializados.

1.8 Cronograma de actividades

CONCEPTO	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1. Revisión de literatura	X	X	X									
2. Definición de conceptos básicos				X	X							
3. Toma de datos	X		X			X		X				
4. Análisis estadístico									X			
5. Presentación de avances					X					X		
6. Escritura de artículo											X	
7. Asistencia a congreso											X	
8. Escritura de Tesis	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
9. Defensa de Tesis											X	

Tabla 1 Cronograma de actividades.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Propiedades del material

La terminal estampada a validar que se utilizara para este proyecto actualmente ya forma parte de la lista de materiales en algunas plataformas manejadas por la empresa por lo cual una vez validada se podrá utilizar sin problema en múltiples programas haciendo referencia a un solo reporte de validación.

Esta terminal está hecha de una aleación de CuZn36 conformada en un porcentaje de 63.5% a un 65.5% de Cobre y el remanente de Zinc [8].

Melting point	Density	Specific heat cap. at 20°C	Electrical cond.	Thermal cond. at 20°C	Mod. of elasticity	Coef. of therm exp. at 20°C
[°C]	[g/cm ³]	[kJ/kgK]	[MS/m]	[W/mK]	[GPa]	[10 ⁻⁶ /K]
920	8,45	0,38	15,8	116	110	20,3

Tabla 2 Propiedades físicas de la aleación CuZn36 [8].

	Diameter	Tensile strength R _m	Yield strength Rp _{0,2}	Elongation A _{11,3} min	Hardness HV	Hardness HB
	[mm]	[MPa]	[MPa]	[%]	[-]	[-]
R300 H070	1,5 – 4,0	300-380	(140)		70-105	
R280 H065	4,0 – 20,0	280-370	(130)	40	60-100	
R380 H105	1,5 – 4,0	380-480	(260)		105-140	
R370 H095	4,0 – 20,0	370-470	(250)	(20)	95-135	
R470 H130	1,5 – 4,0	470-570	(390)		130-160	
R460 H135	4,0 – 8,0	460-560	(380)	(8)	135-165	
R560 H160	1,5 – 4,0	560-700	(570)		160-190	
R550 H155	4,0 – 8,0	550-680	(550)		155-185	
R700 H190	1,5 – 4,0	>700	(710)		>190	

Tabla 3 Propiedades mecánicas de la aleación CuZn36 [8].

2.2 Geometría de la terminal

Uno de los aspectos a evaluar en este proyecto será la geometría de la terminal, ya que nos permitirá realizar un análisis para saber que alturas podremos utilizar en las muestras físicas.

Los modelos utilizados se realizaron mediante el software de NX 10 creado por siemens el cual nos permite crear y modificar las geometrías de cualquier solido generado en el programa [9].

Un método para validar un prensado propuesto incluye generar una geometría de prensado basada en los parámetros de prensado propuestos, generar un modelo virtual del prensado propuesto, determinar características del prensado propuesto usando el virtual modelar y comparar las características del engarce propuesto con criterios predeterminados [10].

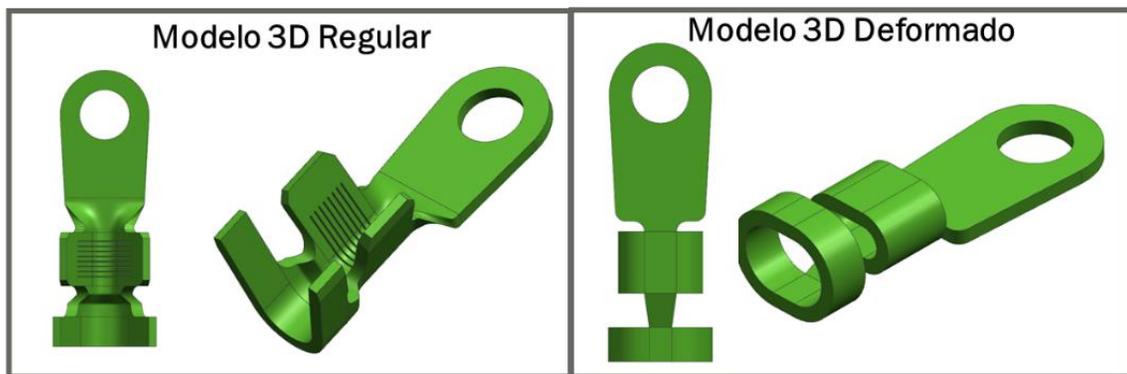


Ilustración 1 Geometrías generadas para el análisis antes y después del prensado para la terminal tipo A. [11]

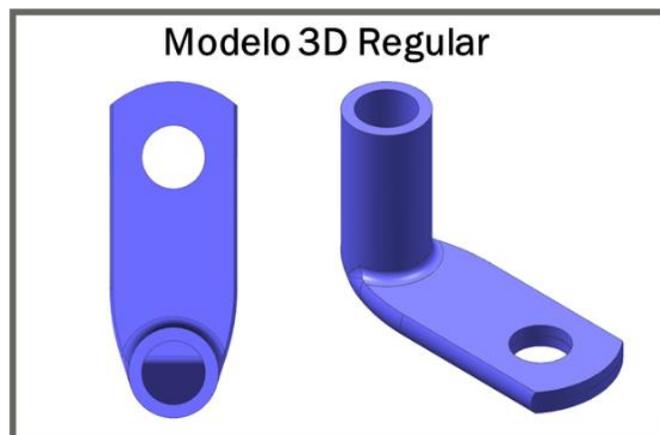


Ilustración 2 Geometrías generadas para el análisis antes y después del prensado Para la terminal tipo B. [10]

2.3 FEA (Final Element Analysis)

Mediante el uso de ANSYS , el cual es un software de implementación para simulaciones de elemento finito en diversos tipos de problemas, incluyendo

estructurales, mecánicos, fluidos, electromagnéticos, etc. [12]

En este trabajo podemos ver el procedimiento de una simulación utilizando el workbench, Como una pequeña introducción de los métodos de elemento finito y como afecta los parámetros de prensado, para tener una comparación entre los resultados simulados y el resultado físico de la terminal prensada.

2.4 Parámetros de prensado

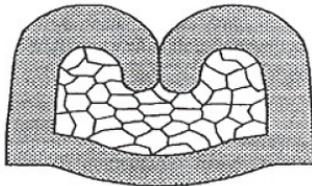
Un conector eléctrico o terminal es un componente cuya función es unir circuitos eléctricos utilizando un ensamble mecánico, este tipo de conexión puede ser temporal o permanente, como es una terminal prensada a ambos lados de un cable, La invención se refiere al campo de los conectores eléctricos, y está dirigida a un conector eléctrico para un cable eléctrico axial gemelo en el que un par de conductores aislados están contenidos en una funda conductora de trenza metálica y una cubierta externa de material aislante [13].

2.5 Parámetros Mecánicos

Entre los parámetros mecánicos podemos separarlos de manera muy detallada los criterios de aceptación para el presado:

- Geometría: Se inspecciona mediante un corte transversal en la terminal prensada para poder observar la distribución y geometría interna del cable con respecto a la terminal.

- Criterio con atributos aceptables



- Symmetric
- Compaction of all strands (no round strands)
- Wings touch only conductor
- Terminal stock free of cracks / breaks
- Core wings "Locked" (no gap) at top of crimp

Ilustración 3 Criterios con atributos aceptables.[5]

- Criterio con atributos aceptables pero no ideales



Overlapping wings



Extreme "ram-horning"

Ilustración 4 Criterios con atributos ideales pero no aceptables.[5]

- Criterio con atributos no aceptables

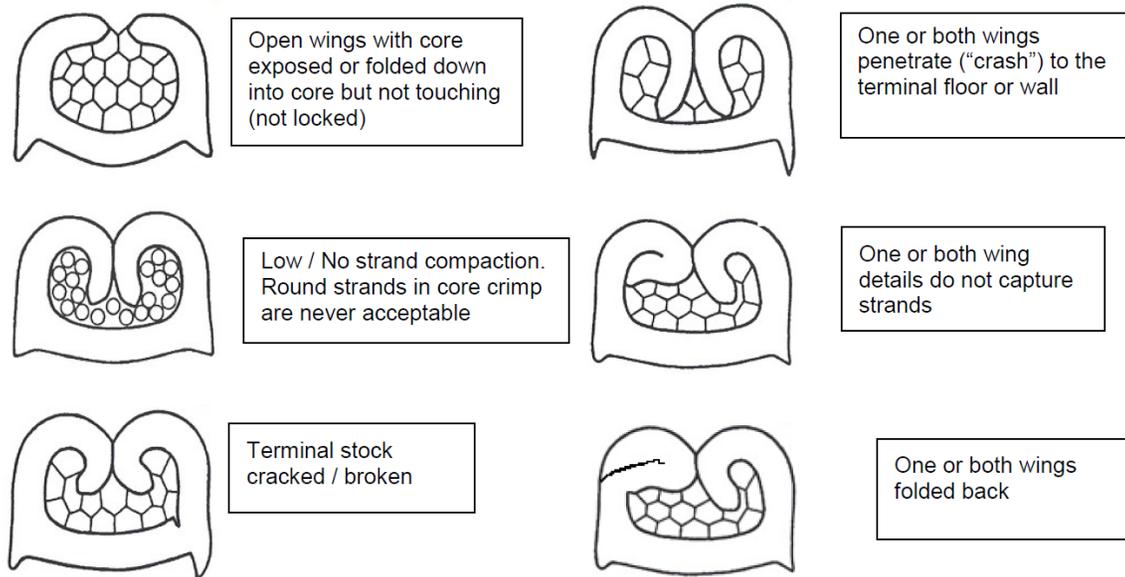


Ilustración 5 Criterios con atributos no aceptables.[5]

- Fuerza de retención
 - Criterio de aceptación para fuerza de retención

SAE ^(a) (mm ²)	\bar{X} -3s Pull-out Force (N)
0.13	50
0.22	50
0.35	50
0.50	75
0.80	90
1	120
2	180
3	240
5	290
8	350
>10	600 ^(c)

Tabla 4 Criterios de aceptación para fuerza de retención.[5], [7]

- El cable utilizado tiene un calibre de 35mm²
- Según la especificación, para cables mayores a 10mm² la fuerza de retención deberá ser mayor o igual a 600N, por lo tanto este parámetro será la base para comparar los resultados

2.6 Parámetros Eléctricos

Los parámetros eléctricos son tomados mediante el uso de un multímetro y se medirán durante 3 etapas diferentes:

1. Etapa Inicial
2. Etapa de desgaste ambiental
3. Etapa Final

Wire Size (mm ²)	Maximum Total R (mV/A [mΩ])	Maximum Change in R (mV/A [mΩ])
>6 and <12	0.15	0.09
≥12 and <20	0.11	0.07
≥20 and <30	0.08	0.05
≥30 and <40	0.06	0.04
≥40 and <50	0.05	0.03
≥50 and <60	0.04	0.02
≥60 and ≤120	0.03	0.02

Tabla 5 Criterio de aceptación para cables.[5]

Como fue mencionado anteriormente el cable de batería a validar tiene un calibre de 35mm² por lo cual nos corresponde los datos correspondientes a cables entre ≥30 y <40.

3 METODOLOGÍA

3.1 Metodología de validación para USCAR 21

El proceso de validación de este cable de batería constara de las siguientes etapas y una vez que esa etapa sea aprobada podremos documentar las consecuentes:

- Inspección visual inicial
Se examina visualmente cada espécimen antes de ser sometido a la prueba o acondicionamiento, no debe contar con defectos en el material o por manufactura, tales como grietas, dobleces, deformaciones.
- Caída de voltaje inicial
 - Realizar una inspección visual.
 - Aplicar la corriente usando como referencia el calibre del cable.

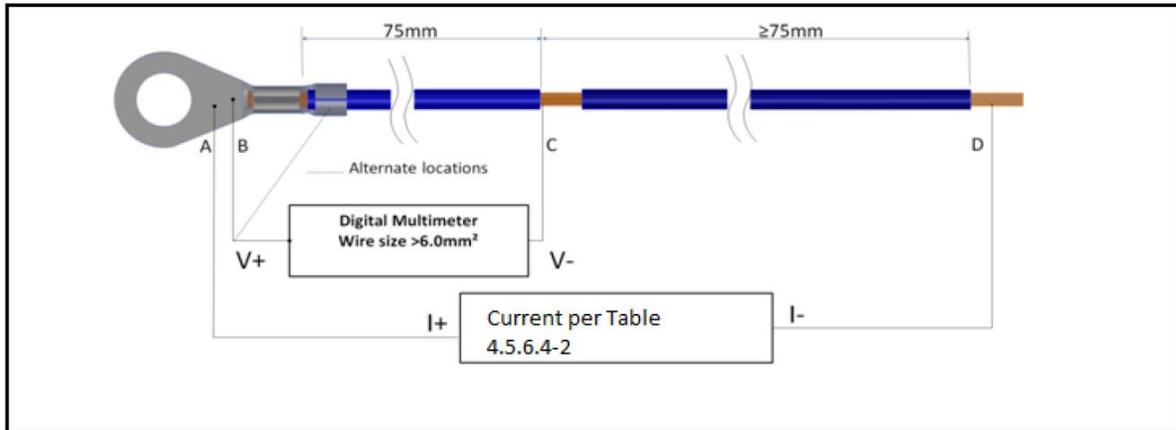


Ilustración 6 Distancia para la toma de valores con multímetro.[5]

Wire Size (mm ²)	Current (A)
>6 and <12	50
≥12 and <20	75
≥20 and <30	100
≥30 and <40	100
≥40 and <50	100
≥50 and <60	100
≥60 and ≤120	100

Tabla 6 Corriente a aplicar según el calibre del cable.[5]

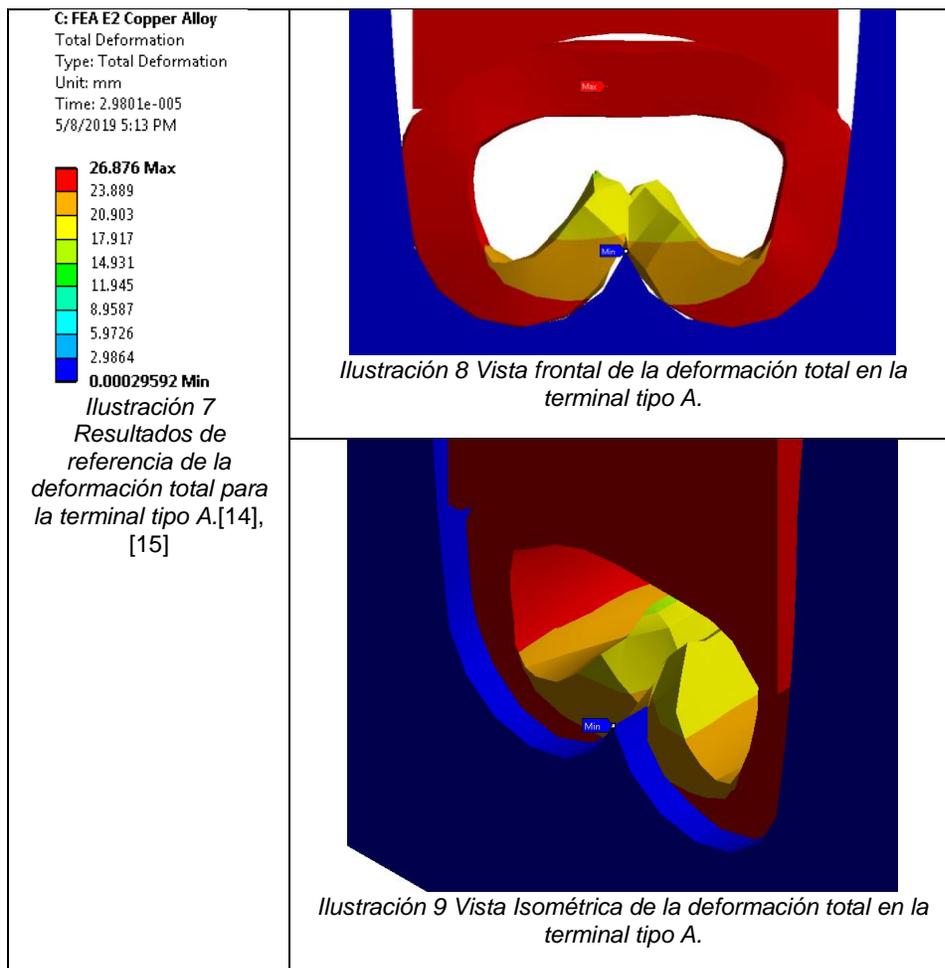
- Una vez aplicada la corriente se debe permitir que la temperatura de las muestras se comporte de manera estable.
- Medir y anotar la caída de voltaje de 3 muestras adicionales que contengan soldadura en el prensado. El valor promedio de la caída de voltaje de estas 3 muestras será utilizado como base para el cambio de resistencia.
- Medir y anotar la caída de voltaje de las muestras a validar utilizando como referencia la ilustración 6.
- Calcular y anotar el valor de voltaje inicial y el cambio de resistencia.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Análisis de la geometría por FEA

Los análisis de elemento finito que se realizaron en este trabajo son para uso de referencia, ayudándonos a notar si la geometría de la terminal muestra algún defecto durante el prensado debido a la interacción con los dados de la herramienta.

4.1.1 FEA para la terminal tipo A



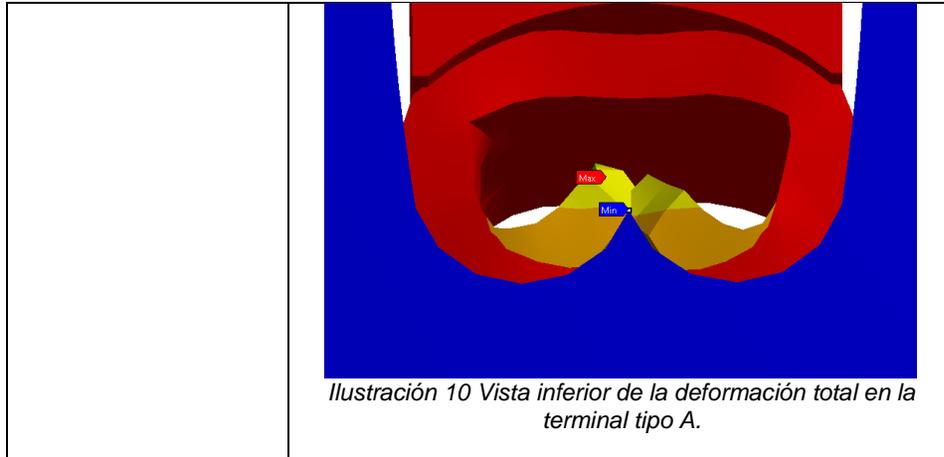
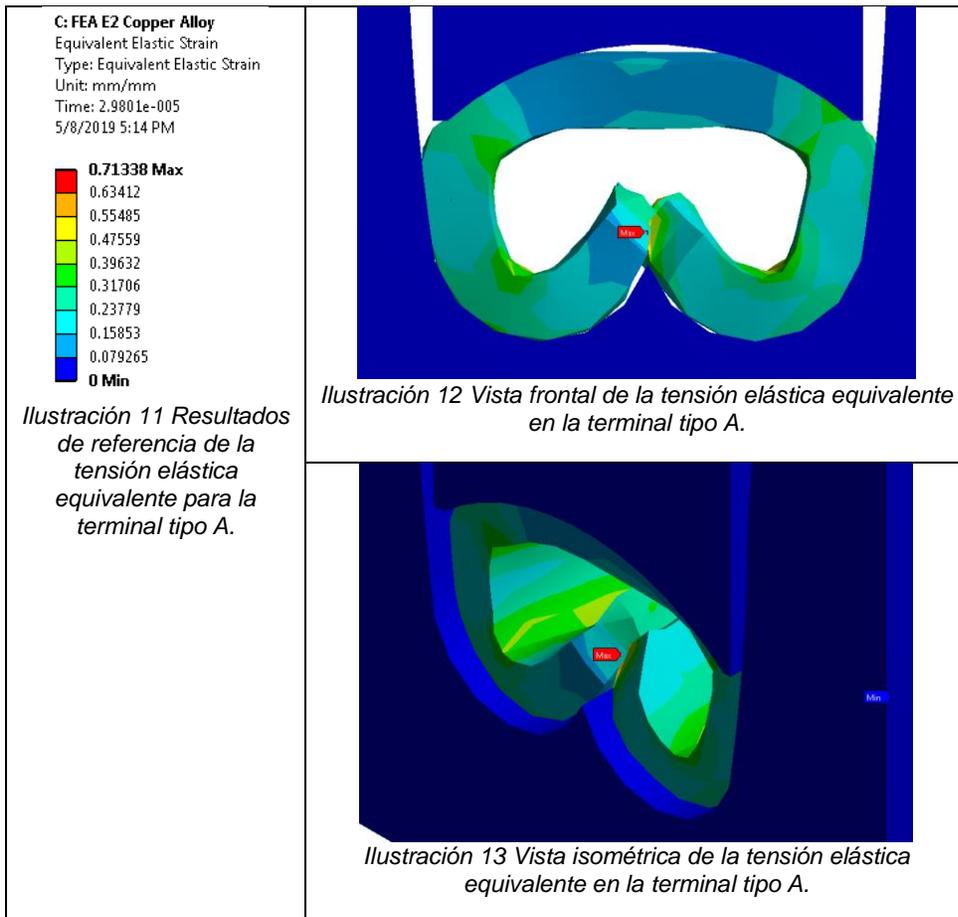


Tabla 7 Deformación total para la terminal tipo A.



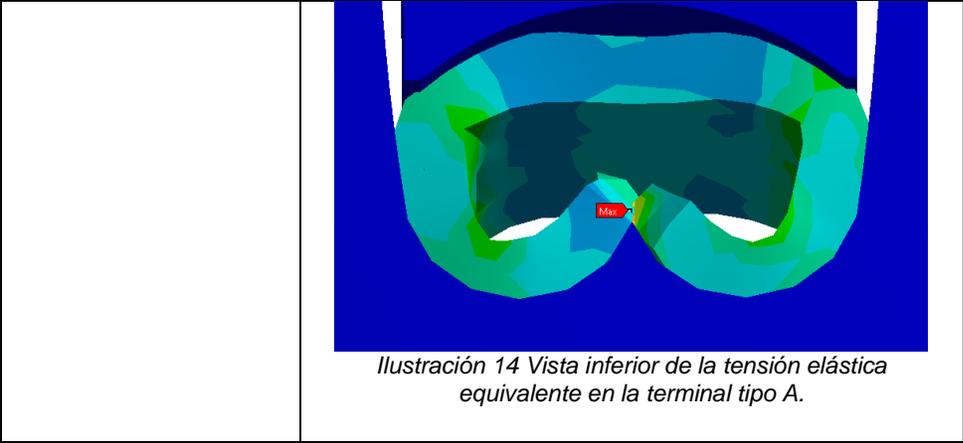
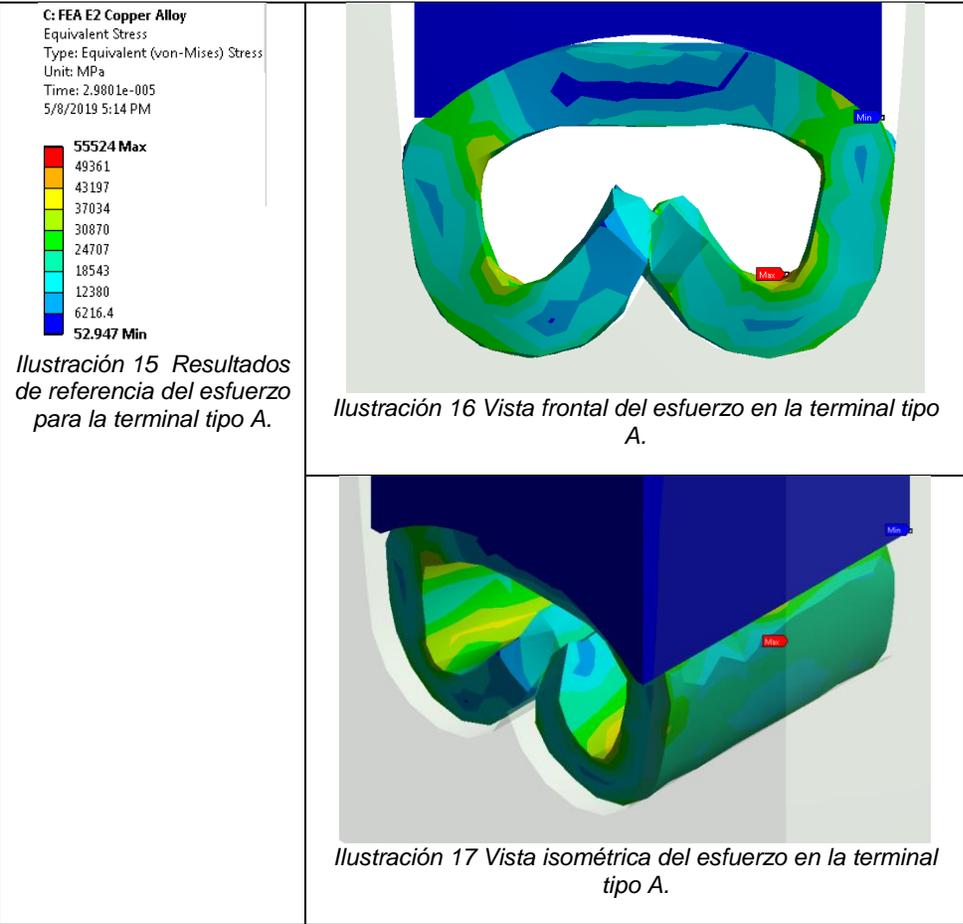


Tabla 8 Tensión elástica equivalente para la terminal tipo A.



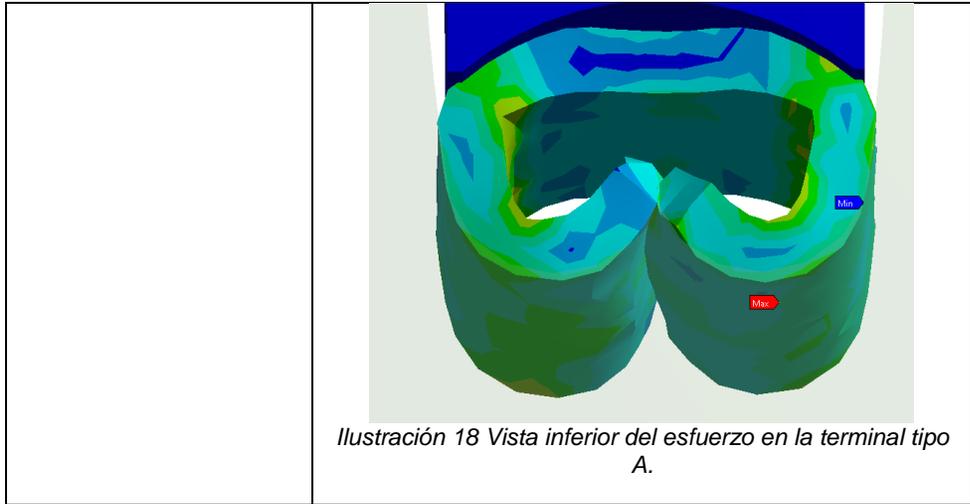
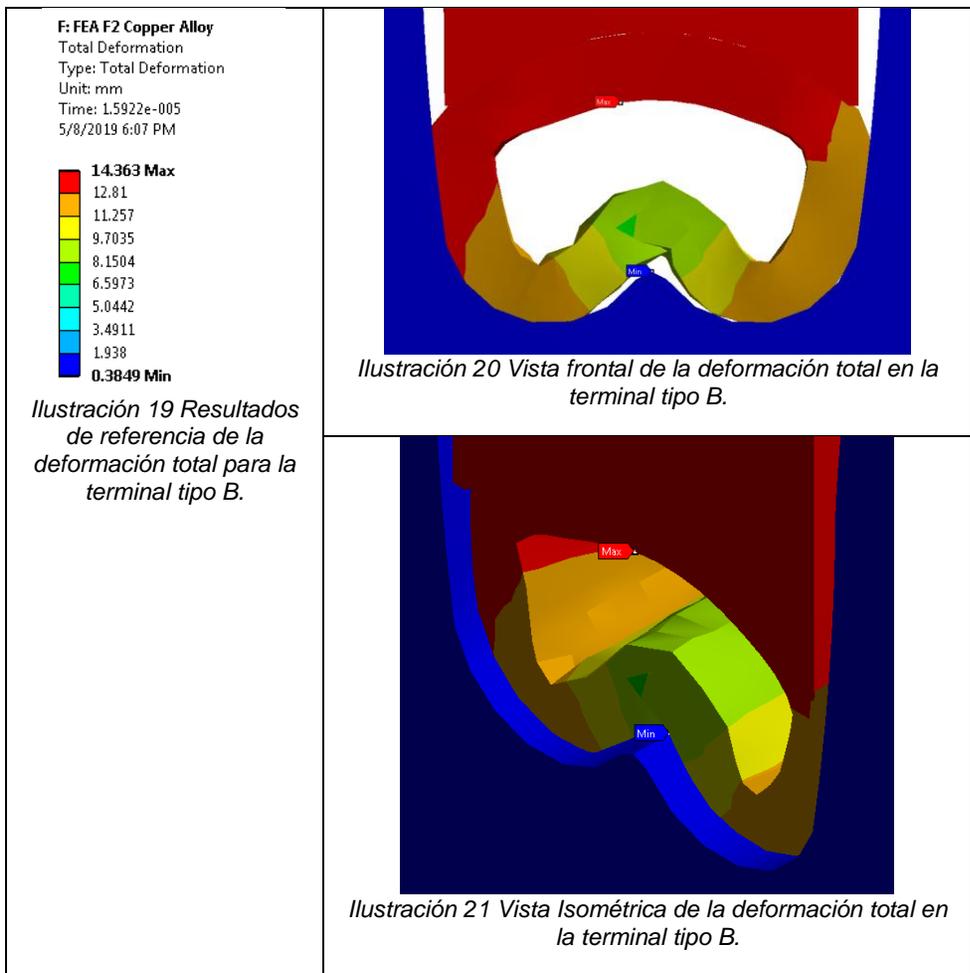


Tabla 9 Esfuerzo para la terminal tipo A.

4.1.2 FEA para la terminal tipo B



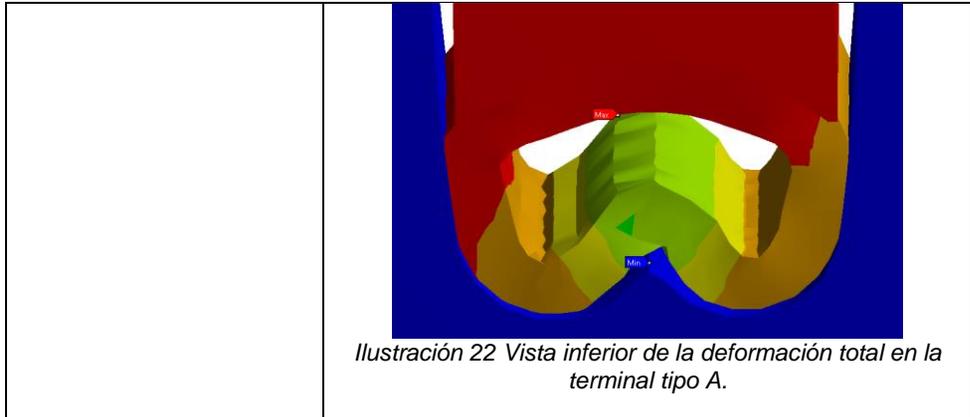
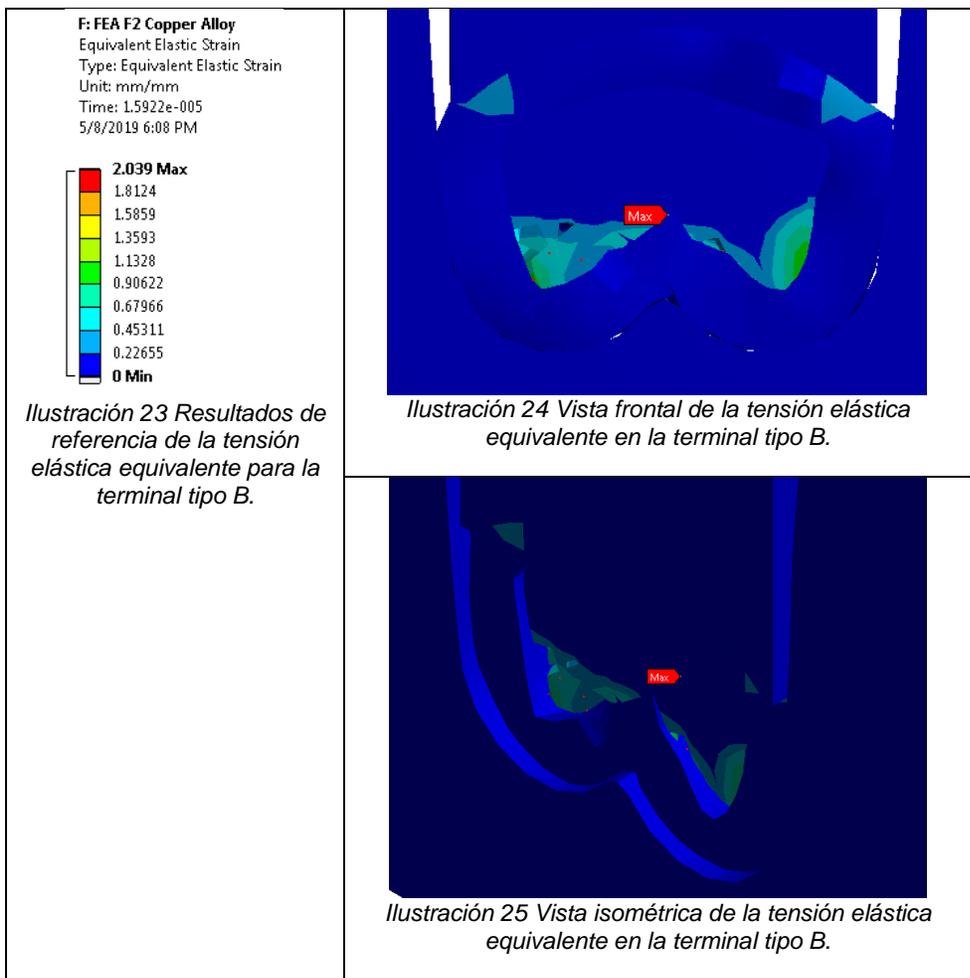


Tabla 10 Deformación total para la terminal tipo B.



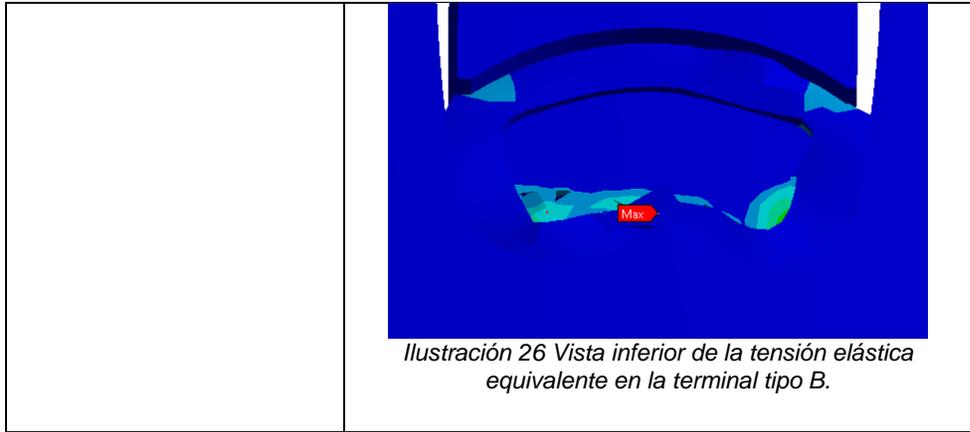
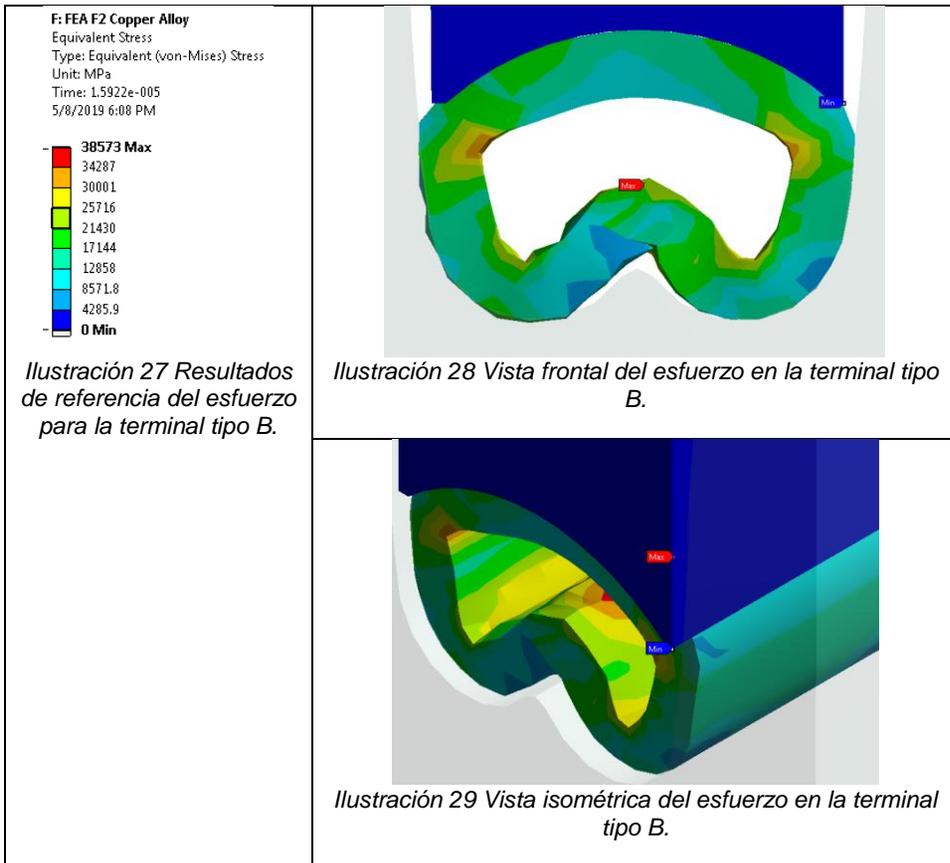


Tabla 11 Tensión elástica equivalente para la terminal tipo B.



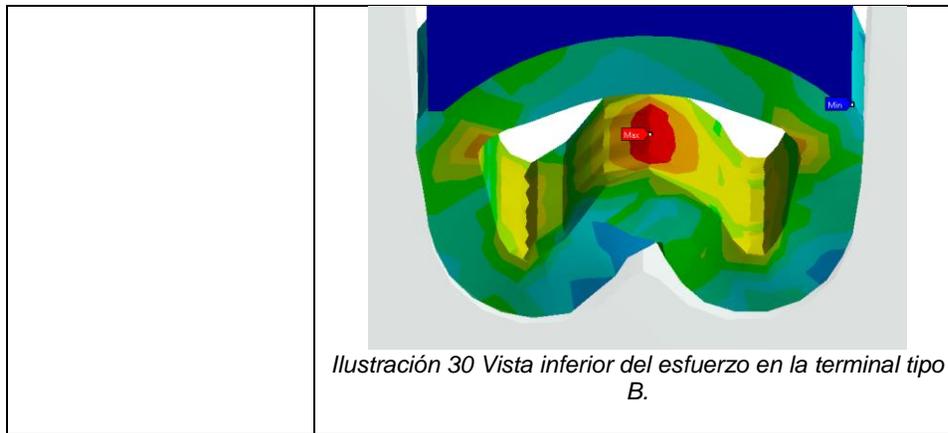


Tabla 12 Esfuerzo en la terminal tipo B.

4.2 Desempeño mecánico

4.2.1 Inspección visual en corte transversal

En el análisis de corte de sección se busca cumplir con las siguientes especificaciones:

- Simetría
- Buena compactación de los hilos (sin espacios)
- Las alas de la terminal solo tocan el conductor
- La terminal no debe mostrar grietas o algún otro tipo de daño
- Las alas de la terminal deben cerrarse de manera que no se encuentren traslapadas

4.2.2 Resultados del corte transversal en la terminal tipo A

Inspección visual en corte transversal para la terminal tipo A						
Validation No	Tipo de terminal	Número variante	Core Crimping Parameters		Cross Section	Cross Section Result
			CCH	CCW		USCAR 21 REV 3 visual parameters
1	A	A1	7.6	12.18		PASS

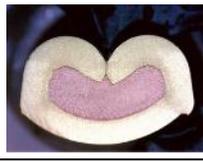
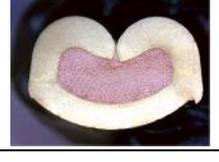
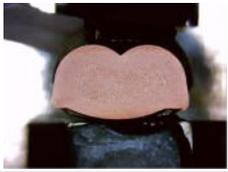
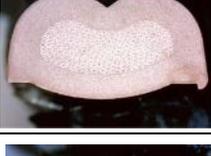
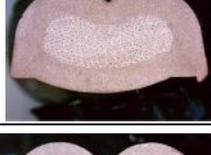
		A2	7.7	12.18		PASS
		A3	7.8	12.18		PASS
2	A	A4	6.9	11.69		PASS
		A5	7	11.69		PASS
		A6	7.1	11.69		PASS
		A7	7.2	11.69		PASS
		A8	7.3	11.69		PASS
		A9	7.3	11.62		PASS
3	A	A10	7.4	11.62		PASS
		A11	7.5	11.62		PASS

Tabla 13 Inspección visual en corte transversal para la terminal tipo A

4.2.3 Resultados del corte transversal en la terminal tipo B

Inspección visual en corte transversal para la terminal tipo B						
Validation No	Tipo de terminal	Número variante	Core Crimping Parameters		Cross Section	Cross Section Result
			CCH	CCW		USCAR 21 REV 3 visual parameters
1	B	B1	7.6	11.9		PASS
		B2	7.7	11.9		PASS
		B3	7.8	11.9		PASS
2	B	B4	6.8	12.61		PASS
		B5	6.9	12.61		PASS
		B6	7	12.61		PASS

		B7	7.1	12.61		PASS
		B8	7.2	12.61		PASS
3	B	B9	6.4	12.65		PASS
		B10	6.5	12.65		PASS
		B11	6.6	12.65		PASS
		B12	6.7	12.65		PASS
		B13	6.8	12.65		PASS
		4	B	B14	7.1	11.88
B15	7.2			11.88		PASS
B16	7.3			11.88		PASS

		B17	7.4	11.88		PASS
		B18	7.5	11.88		PASS

Tabla 14 Inspección visual en corte transversal para la terminal tipo B

4.2.4 Prueba de retención para la terminal tipo A

Fuerza de retención para la terminal tipo A								
Validación No	Tipo de terminal	Número variante	Pull Force (N)					Pull Force Result
			Average	Minimum	Maximum	Std. Derivatio n	Average-3*Std	Minimum Pull Force = 600 N
1	A	A1	3459.05	2963	3659	165.96	2961.16	PASS
		A2	3344.75	2992	3561	167.48	2842.31	PASS
		A3	3230.5	2923	3424	136.41	2821.26	PASS
2	A	A4	3550.73	2423.07	4149.63	415.78	2303.38	PASS

		A5	3844.5 4	3247.1 1	4198.68	350.06	2794. 35	PASS
		A6	3912.7 2	3227.4 9	4257.54	267.38	3110. 58	PASS
		A7	3953.4 3	3570.8 4	4159.44	156.96	3482. 55	PASS
		A8	3626.7 6	3139.2	4051.53	264.21	2834. 12	PASS
3	A	A9	3771.9 4	3472.7 4	3992.67	136.95	3361. 09	PASS
		A10	3753.3 1	3551.2 2	3924	110.87	3420. 7	PASS
		A11	3739.0 8	3511.9 8	3953.43	111.64	3404. 17	PASS

Tabla 15 Fuerza de retención para la terminal tipo A

4.2.5 Prueba de retención para la terminal tipo B

Fuerza de retención para la terminal tipo B				
Validati on No	Tipo de	Núme ro	Pull Force (N)	Pull Force Result

	terminal	varian te	Avera ge	Minimu m	Maxim un	Std. Derivati on	Averag e-3*Std	Minimu m Pull Force = 600 N
1	B	B1	6897. 9	6533	7348	169.66	6388.9 1	PASS
		B2	6588. 4	6288	6936	182.37	6041.2 9	PASS
		B3	6574. 65	6367	6896	131.5	6180.1 4	PASS
2	B	B4	6102. 8	5768.2 8	6327.4 5	144.24	5670.0 7	PASS
		B5	6124. 38	5424.9 3	6317.6 4	203.7	5513.2 8	PASS
		B6	6187. 17	5964.4 8	6494.2 2	151.75	5731.9 3	PASS
		B7	6194. 52	5915.4 3	6425.5 5	119.62	5835.6 7	PASS
		B8	6105. 74	5160.0 6	6562.8 9	282.31	5258.8 2	PASS

3	B	B9	6056. 2	5797.7 1	6229.3 5	109.16	5728.7 2	PASS
		B10	6028. 25	5895.8 1	6190.1 1	73.17	5808.7 4	PASS
		B11	6089. 07	5915.4 3	6219.5 4	88.04	5824.9 6	PASS
		B12	5992. 93	5758.4 7	6219.5 4	100.44	5691.6	PASS
		B13	5991. 46	5748.6 6	6199.9 2	114.97	5646.5 4	PASS
4	B	B14	6365. 71	5797.7 1	6572.7	222.43	5698.4 2	PASS
		B15	6468. 22	5346.4 5	6817.9 5	292.47	5590.8	PASS
		B16	6488. 33	5797.7 1	6867	233.46	5787.9 5	PASS
		B17	6564. 36	6376.5	6876.8 1	139.04	6147.2 5	PASS
		B18	6507. 95	6092.0 1	6759.0 9	161.02	6024.9	PASS

Tabla 16 Fuerza de retención para la terminal tipo B

4.3 Desempeño Eléctrico

4.3.1 Caída de voltaje para la terminal tipo A

Caída de voltaje inicial para la terminal tipo A							
Validation No	Tipo de terminal	Número variante	Initial Readings ≤ 0.06 m Ω				
			# In Conform Initial	Min m Ω	Max m Ω	Avg m Ω	Std Dev m Ω
1	A	A1	0	0.0644	0.1083	0.0762	0.0142
		A2	0	0.0513	0.0957	0.0793	0.0165
		A3	0	0.0466	0.0966	0.0777	0.0198
2	A	A4	5	0.0497	0.0747	0.0606	0.0086
		A5	9	0.0416	0.0639	0.0549	0.0057
		A6	5	0.0379	0.0703	0.0579	0.009
		A7	7	0.0454	0.0689	0.0548	0.0074
		A8	7	0.0441	0.0697	0.0552	0.0082
3	A	A9	10	0.0292	0.0349	0.0325	0.0021
		A10	10	0.0299	0.0356	0.0323	0.002
		A11	10	0.0291	0.0378	0.034	0.0031

Tabla 17 Caída de voltaje inicial para la terminal tipo A

Caída de voltaje final para la terminal tipo A							
Validation No	Tipo de terminal	Número variante	Final Readings ≤ 0.06 m Ω				
			# In Conform Final	Min m Ω	Max m Ω	Avg m Ω	Std Dev m Ω
1	A	A1	0	0.1195	0.2554	0.1949	0.0379
		A2	0	0.0785	0.3143	0.1811	0.0642
		A3	0	0.1202	0.3185	0.1881	0.0652
2	A	A4	0	0.068	0.1096	0.093	0.0152
		A5	2	0.0409	0.1392	0.1012	0.0387
		A6	0	0.0682	0.1757	0.1008	0.0336
		A7	3	0.0602	0.1547	0.1131	0.0277
		A8	0	0.1284	0.2141	0.1766	0.0318
3	A	A9	10	0.0283	0.0376	0.0317	0.0029
		A10	10	0.0285	0.0357	0.0317	0.0022
		A11	10	0.0298	0.0373	0.034	0.0026

Tabla 18 Caída de voltaje final para la terminal tipo A

Cambio de resistencia para la terminal tipo A						
Validation No	Tipo de terminal	Número variante	Resist Change $\leq 0.04 \text{ m}\Omega$			Accelerated Env. Results
			# In Conform Resist	Min Change $\leq \text{m}\Omega$	Max Change $\leq \text{m}\Omega$	
1	A	A1	0	0.0477	0.163	FAIL
		A2	1	-0.0095	0.2231	FAIL
		A3	0	0.0278	0.2719	FAIL
2	A	A4	5	-0.0068	0.0505	FAIL
		A5	4	-0.0133	0.0802	FAIL
		A6	5	0.0048	0.1055	FAIL
		A7	3	0.0028	0.1066	FAIL
3	A	A8	0	0.0726	0.1615	FAIL
		A9	10	-0.0065	0.0083	PASS
		A10	10	-0.004	0.0023	PASS
		A11	10	-0.008	0.0063	PASS

Tabla 19 Cambio de resistencia para la terminal tipo A

4.3.2 Caída de voltaje para la terminal tipo B

Caída de voltaje inicial para la terminal tipo B							
Validation No	Tipo de terminal	Número variante	Initial Readings $\leq 0.06 \text{ m}\Omega$				
			# In Conform Initial	Min $\text{m}\Omega$	Max $\text{m}\Omega$	Avg $\text{m}\Omega$	Std Dev $\text{m}\Omega$
1	B	B1	0	0.0462	0.0961	0.0691	0.0155
		B2	0	0.0424	0.0822	0.0611	0.0108
		B3	0	0.0583	0.1147	0.0749	0.0207
2	B	B4	1	0.0524	0.1043	0.0696	0.0152
		B5	4	0.0338	0.0778	0.0563	0.013
		B6	9	0.0396	0.0709	0.0478	0.01
		B7	6	0.0345	0.0832	0.0544	0.0139
3	B	B8	1	0.059	0.0841	0.0722	0.009
		B9	10	0.0085	0.0541	0.0221	0.0129
		B10	8	0.0068	0.0682	0.0354	0.022
		B11	10	0.0191	0.0552	0.042	0.0139
		B12	10	0.011	0.0579	0.0349	0.0145
4	B	B13	10	0.0068	0.0583	0.0352	0.0169
		B14	7	0.0292	0.064	0.0554	0.0153

	B15	8	0.047	0.0597	0.06	0.0184
	B16	10	0.0232	0.049	0.0583	0.0258
	B17	10	0.0438	0.058	0.0746	0.0183
	B18	10	0.0662	0.1071	0.0806	0.0118

Tabla 20 Caída de voltaje inicial para la terminal tipo B

Caída de voltaje final para la terminal tipo B							
Validation No	Tipo de terminal	Número variante	Final Readings ≤ 0.06 m Ω				
			# In Conform Final	Min m Ω	Max m Ω	Avg m Ω	Std Dev m Ω
1	B	B1	0	0.0512	0.0927	0.076	0.0154
		B2	0	0.589	0.0903	0.0724	0.0108
		B3	0	0.0679	0.1181	0.0882	0.0197
2	B	B4	1	0.054	0.0917	0.0796	0.0122
		B5	4	0.0257	0.097	0.0645	0.0219
		B6	7	0.0423	0.1129	0.06	0.0205
		B7	1	0.0204	0.1038	0.0783	0.0243
		B8	1	0.0599	0.1455	0.1025	0.0252
3	B	B9	9	0.0176	0.1003	0.034	0.0243
		B10	4	0.0179	0.1016	0.0547	0.0293
		B11	4	0.0226	0.1044	0.0599	0.0207
		B12	3	0.0174	0.0956	0.0667	0.0276
		B13	5	0.024	0.1019	0.0573	0.0287
4	B	B14	7	0.0481	0.114	0.0776	0.0188
		B15	8	0.0379	0.1293	0.0957	0.0287
		B16	10	0.0467	0.1459	0.1021	0.0374
		B17	10	0.0505	0.1437	0.0862	0.0339
		B18	10	0.0679	0.1756	0.1139	0.0336

Tabla 21 Caída de voltaje final para la terminal tipo B

Cambio de resistencia para la terminal tipo B						
Validation No	Tipo de terminal	Número variante	Resist Change ≤ 0.04 m Ω			Accelerated Env. Results
			# In Conform Resist	Min Change \leq m Ω	Max Change \leq m Ω	
1	B	B1	2	-0.0039	0.0178	FAIL
		B2	0	0.0033	0.0179	FAIL

		B3	0	0.0001	0.0312	FAIL
2	B	B4	10	-0.0204	0.0277	FAIL
		B5	9	-0.008	0.0523	FAIL
		B6	9	-0.0168	0.0708	FAIL
		B7	9	-0.0142	0.0496	FAIL
		B8	7	-0.004	0.0616	FAIL
		B9	9	-0.0075	0.0462	FAIL
3	B	B10	9	0.0001	0.0419	FAIL
		B11	9	-0.0067	0.0492	FAIL
		B12	6	0.0024	0.0617	FAIL
		B13	8	-0.0049	0.0464	FAIL
		B14	7	-0.0168	0.0708	FAIL
4	B	B15	9	-0.0142	0.0496	FAIL
		B16	10	-0.0012	0.0048	PASS
		B17	10	-0.003	0.0078	PASS
		B18	10	-0.004	0.0027	PASS

Tabla 22 Cambio de resistencia para la terminal tipo B

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Mediante a las pertinentes procesos logramos obtener resultados positivos para todas las pruebas de la terminal, incluida la prueba de resistencia eléctrica la cual es una de las más complicadas de obtener con un resultado bajo cumplimiento, uno de los parámetros que pudimos observar fue que la geometría simulada mostro una gran similitud con la geometría física, permitiéndonos enfocarnos en los parámetros de altura y ancho en el prensado de la terminal, mostrando como evidencia las siguientes imágenes donde podemos ver una comparativa entre la simulación y la terminal física:

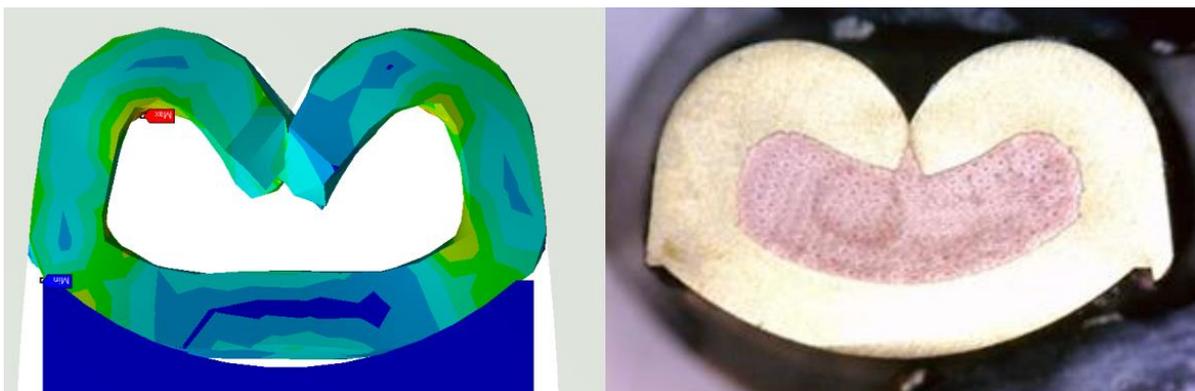


Ilustración 31 Comparación entre la geometría simulada y la geometría física de la terminal tipo A.

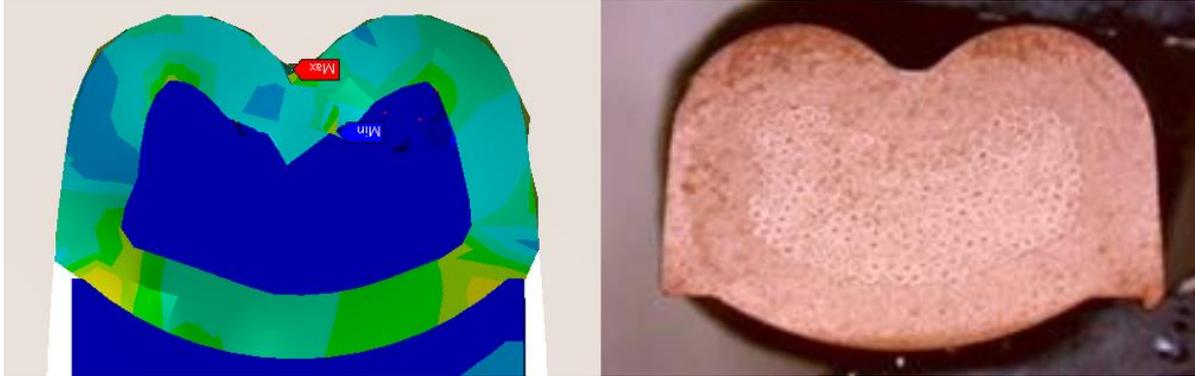


Ilustración 32 Comparación entre la geometría simulada y la geometría física de la terminal tipo B.

En cuanto a la mejor variante ente altura y ancho logramos obtener tres configuraciones de cada terminal que cumplen con las especificaciones del USCAR 21 Rev 3:

Tipo de terminal	Variante	CCH	CCW
A	A9	7.3	11.62
	A10	7.4	11.62
	A11	7.5	11.62
B	B16	7.3	11.88
	B17	7.4	11.88
	B18	7.5	11.88

Tabla 23 Terminales bajo el cumplimiento de USCAR 21 Rev 3.

6 REFERENCIAS

- [1] S. K. S. R. Schmid, *MANUFACTURA, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA*, Quinta edi. PEARSON Educación, 2008.
- [2] A. L. Rivero, "Convergencia tecnológica y nacimiento de las maquiladoras de tercera generación: el caso Delphi-Juárez," 2000, [Online]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-39252001000100002&script=sci_arttext.
- [3] SAE, "About SAE International," 2020. <https://www.sae.org/about/history>.
- [4] SAE, "Setting the standards that lead to success," [Online]. Available: <https://www.sae.org/binaries/content/assets/cm/content/about/about-sae-2018.pdf>.
- [5] C. E. Crimps, "SAE / USCAR-21 REVISION 3 CABLE-TO-TERMINAL ELECTRICAL CRIMPS," no. 248, pp. 776–790, 2014.
- [6] S. A. E. International and F. M. Co, *USCAR 21 Performance Specification for Cable-to-Terminal Electrical Crimps Rev 4*, no. January. 2020.
- [7] UNITED STATES COUNCIL FOR AUTOMOTIVE RESEARCH LLC, "USCAR'S

- EWCAP UPDATES USCAR-21 CRIMP PERFORMANCE SPEC TO ADDRESS HIGHER ELECTRICAL LOADS IN VEHICLES," *USCAR*, 2014, [Online]. Available: https://www.uscar.org/guest/article_view.php?articles_id=787.
- [8] T. Datasheet, "Comparable standards: EN CW507L • UNS C37200 • BS - Aurubis designations: PNA244," [Online]. Available: <https://www.aurubis-stolberg.com/wdb/draht/eng/PNA244-eng.pdf>.
- [9] SIEMENS, "NX SOFTWARE," [Online]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/nx/>.
- [10] K. Kang, J. Park, S. Hyung, and J. Y. Oh, "Virtual crimp validation system," *United States Pat.*, vol. 2, no. 12 US7617066B2, 2014.
- [11] APTIV, "Electrical Distribution Systems," 2020. <https://www.aptiv.com/solutions/electrical-distribution-systems>.
- [12] H.-H. Lee, *Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 17, Theory, Applications, Case Studies*. SDC Publications, 2017.
- [13] R. C. Laudig and D. L. Smith, "ELECTRICAL CONNECTOR FOR AN ELECTRICAL CABLE," *United States Pat.*, no. 19 US4688878A, 1987.
- [14] Ansys, "Student Community," 2020, [Online]. Available: <https://studentcommunity.ansys.com/>.
- [15] Ansys, "Ansys 'Workbench 17' Software," *Structural*, 2020. <https://www.ansys.com/>.